

OSP 15/28
US 15/28 1/1

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 月 2 2 日
Date of Application:

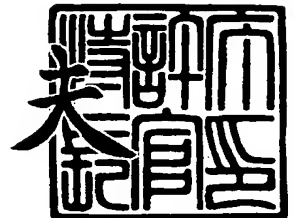
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 1 3 6 0 8
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 1 3 6 0 8]

出 願 人 セイコーエプソン株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 1 月 1 3 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 9 3 8 0 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 J0094423

【提出日】 平成15年 1月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03H 9/25

【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 樋口 天光

【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 岩下 節也

【発明者】

【住所又は居所】 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

【氏名】 宮澤 弘

【特許出願人】

【識別番号】 000002369

【氏名又は名称】 セイコーエプソン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095728

【弁理士】

【氏名又は名称】 上柳 雅誉

【連絡先】 0 2 6 6 - 5 2 - 3 1 3 9

【選任した代理人】

【識別番号】 100107076

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤網 英吉

【選任した代理人】

【識別番号】 100107261

【弁理士】

【氏名又は名称】 須澤 修

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013044

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0109826

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法、表面弾性波素子、周波数フィルタ、周波数発振器、電子回路、および電子機器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 気相法によるニオブ酸カリウム (KNbO_3) 薄膜の製造工程において、基板を所定の酸素分圧下で KNbO_3 と $3\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Nb}_2\text{O}_5$ との共晶温度以上完全熔融温度以下、すなわち KNbO_3 と液相とが共存する温度領域に保持し、気相原料を基板上に固液共存状態で堆積し、液相中から KNbO_3 を固相として析出させることにより KNbO_3 薄膜を成長させることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、気相として蒸発させる出発原料の組成が、 $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 50 : 50$ から $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 65 : 35$ の間にあることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 ないし 2 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記基板が、その表面において結晶軸が表面に垂直かつ平行な方向ともに配向した構造であり、液相から析出する KNbO_3 が基板を種結晶として単結晶成長することを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 4】 請求項 3 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、ニオブ酸カリウム薄膜の製造工程が、単結晶成長後に表面に残留した液相成分の付着層を、物理的あるいは化学的に除去する工程を含むことを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 5】 請求項 3 ないし 4 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、ニオブ酸カリウム薄膜の製造工程が、液相から KNbO_3 を析出させる工程の前に、結晶性向上を目的としてあらかじめ低堆積速度で基板表面をニオブ原子、カリウム原子で終端させる工程を含むことを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 6】 請求項 3 ないし 5 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記基板が、シリコン単結晶基板と、前記シリコン単結晶基板上

にエピタキシャル成長したバッファ層と、前記バッファ層上にエピタキシャル成長したニオブ酸カリウム単結晶薄膜と、からなる構造であることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 7】 請求項 6 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、シリコンよりも熱力学的に酸素と結合しやすい金属を含む NaCl 型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、からなることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 8】 請求項 6 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、シリコンよりも熱力学的に酸素と結合しやすい金属を含むフルオライト型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した層状ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、前記第二バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第三のバッファ層と、からなることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 9】 請求項 3 ないし 5 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記基板が、単結晶、多結晶、アモルファスのいずれかの基板と、前記基板上に、イオンビーム照射を伴う気相法によって、前記基板の結晶方位とは無関係に面内配向成長したバッファ層と、前記バッファ層上にエピタキシャル成長したニオブ酸カリウム単結晶薄膜と、からなる構造であることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 10】 請求項 9 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、NaCl 型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、からなることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法。

【請求項 11】 請求項 9 記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、フルオライト型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した層状ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、前記第二バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第三のバッファ層と、からなることを特徴とするニオブ酸カリウム単結晶

薄膜の製造方法。

【請求項 1 2】 請求項 1 ないし 1 1 記載の製造方法によって作製されたニオブ酸カリウム単結晶薄膜を有することを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項 1 3】 請求項 1 2 記載の表面弾性波素子を含むことを特徴とする周波数フィルタ。

【請求項 1 4】 請求項 1 2 記載の表面弾性波素子を含むことを特徴とする周波数発振器。

【請求項 1 5】 請求項 1 4 記載の周波数発振器を含むことを特徴とする電子回路。

【請求項 1 6】 請求項 1 3 記載の周波数フィルタ、請求項 1 4 記載の周波数発振器、請求項 1 5 記載の電子回路の少なくとも 1 つを含むことを特徴とする電子機器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、情報通信機器に用いられる表面弾性波素子に関し、特に圧電薄膜を用いた表面弾性波素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

携帯電話などの移動体通信を中心とした通信分野の著しい発展に伴い、表面弾性波素子の需要が急速に拡大している。表面弾性波素子の開発の方向としては、小型化、高効率化、高周波化の方向にあり、そのためには、より大きな電気機械結合係数（以下 k^2 ）、より安定な温度特性、より大きな表面弾性波伝播速度、が必要となる。例えば高周波フィルタとして用いる場合には、損失の小さく帯域幅の広い通過帯域を得るためには高 k^2 が望まれる。共振周波数を高周波化するためには、インターディジタル型電極（Inter-Digital Transducer、以下 IDT）のピッチのデザインルールの限界からしても、より音速の速い材料が望まれている。さらに、使用温度領域での特性の安定化を得るためには、中心周波数温度係数（TCF）が小さいことが必要となる。

【0003】

表面弾性波素子は、従来、主として圧電体の単結晶上にIDTを形成した構造が用いられてきた。圧電単結晶の代表的なものとしては、水晶、ニオブ酸リチウム（以下 LiNbO_3 ）、タンタル酸リチウム（以下 LiTaO_3 ）などである。例えば、広帯域化や通過帯域の低損失化が要求されるRFフィルタの場合には、 k^2 の大きい LiNbO_3 が用いられる。一方、狭帯域でも安定な温度特性が必要なIFフィルタの場合は、TCFの小さい水晶が用いられる。さらに、 k^2 およびTCFがそれぞれ LiNbO_3 と水晶の間にある LiTaO_3 はその中間的な役割を果たしている。ただし、 k^2 の最も大きい LiTaO_3 でも、 $k^2 \sim 20\%$ 程度であった。

【0004】

最近 KNbO_3 （ $a = 0.5695 \text{ nm}$ 、 $b = 0.5721 \text{ nm}$ 、 $c = 0.3973 \text{ nm}$ 、以下斜方晶としては本指数表示に従う）単結晶において、大きな k^2 の値を示すカット角が見出された。Electron. Lett. Vol. 33（1997）193.に記載されているように、 0° YカットX伝播（以下 0° Y-X） KNbO_3 単結晶板が、 $k^2 = 53\%$ と非常に大きな値を示すことが計算によって予測された。さらに、Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37（1998）2929.に記載されているように、 0° Y-X KNbO_3 単結晶板が $k^2 \sim 50\%$ の大きな値を示すことが実験でも確認され、 45° から 75° までの回転Y-X KNbO_3 単結晶基板を用いたフィルタの発振周波数が、室温付近で零温度特性を示すことが報告されている。これらの 0° Y-Xを含めた回転Y-X KNbO_3 単結晶板は、特開平10-65488で出願されている。

【0005】

圧電単結晶基板を用いた表面弾性波素子では、 k^2 、温度係数、音速などの特性は材料固有の値であり、カット角および伝播方向で決定される。 0° Y-X KNbO_3 単結晶基板は k^2 に優れるが、 45° から 75° までの回転Y-X KNbO_3 単結晶基板のような零温度特性は室温付近において示さない。また、伝播速度は同じペロブスカイト型酸化物である SrTiO_3 や CaTiO_3 に比べて遅い。このように、 KNbO_3 単結晶基板を用いるだけでは、高音速、高 k^2 、零温度

特性を全て満足させることはできない。

【0006】

そこで、何らかの基板上に圧電体薄膜を堆積し、その膜厚を制御して、音速や k^2 、温度特性を向上させることが期待される。Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32 (1993) 2337. に記載されているようなサファイア基板上に酸化亜鉛（以下 ZnO ）薄膜を形成したもの、あるいは Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32 (1993) L745. に記載されているようなサファイア基板上に $LiNbO_3$ 薄膜を形成したものなどが挙げられる。従って、 $KNbO_3$ についても、基板上に薄膜化して、諸特性を全て向上させることが期待される。

【0007】

ここで圧電薄膜としては、その k^2 、温度特性を引き出すために最適な方向に配向することが望ましく、リーキー波伝播に伴う損失をなるべく小さくするためには、平坦で緻密なエピタキシャル膜であることが望ましい。ここで $k^2 \sim 50\%$ の $Y-XKNbO_3$ は、擬立方晶 (100) に相当し、 $k^2 \sim 10\%$ の $90^\circ Y-XKNbO_3$ は、擬立方晶 (110) に相当する。従って例えば、 $SrTiO_3$ (100) あるいは (110) 単結晶基板を用いることで、 $k^2 \sim 50\%$ の $Y-XKNbO_3$ 薄膜あるいは $k^2 \sim 10\%$ の $90^\circ Y-XKNbO_3$ 薄膜を得ることができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、これらの $KNbO_3$ 圧電薄膜を用いた表面弾性波素子には、以下の問題点があった。

【0009】

$KNbO_3$ 薄膜の作製に際しては、 Nb に比べて K の飽和蒸気圧が著しく高いために、 Nb に比べて K が蒸発しやすく、作製後の薄膜における組成が出発組成と比べて Nb 過剰側にずれるという問題があった。この組成ずれを補償するために、例えば Appl. Phys. Lett. Vol. 68 (1996) 1488. に報告されているように、レーザーアブレーション法を用いて $KNbO_3$ 薄

特願2003-013608

膜を作製する場合、あらかじめKを過剰にしたターゲットが用いられていた。ところが、図1に示す $K_2O-Nb_2O_5$ の相図(J. Am. Chem. Soc. Vol. 77 (1955) 2117. から明らかなように、 $KNbO_3$ のK過剰組成側には $3K_2O \cdot Nb_2O_5$ 化合物が存在し、 $KNbO_3$ と $3K_2O \cdot Nb_2O_5$ の共晶温度 $845^\circ C$ 以下では $KNbO_3$ と $3K_2O \cdot Nb_2O_5$ がともに固相として共存し、 $KNbO_3$ のNb過剰組成側には $2K_2O \cdot 3Nb_2O_5$ 化合物が存在し、 $KNbO_3$ の融点である $1039^\circ C$ 以下では $KNbO_3$ と $2K_2O \cdot 3Nb_2O_5$ がともに固相として共存する。従って、レーザーによってアブレーションされた出発原料が基板に到達した時点で厳密に $K:Nb=50:50$ の組成となっていなければ、K過剰側にずれてもNb過剰側にずれても作製された薄膜は異相を含み、単一相は得られないことになる。

【0010】

ここで、 $KNbO_3$ バルク単結晶の場合は、 $K:Nb=50:50$ よりもわずかにK過剰組成の液相中から種結晶による引き上げ(Top Seeded Solution Growth (TSSG)法)などによって大型の単結晶が得られている(J. Crystal Growth Vol. 78 (1986) 431.)。これは、図1の $K_2O-Nb_2O_5$ 二元系状態図において、 $K_2O:Nb_2O_5=50:50$ から $K_2O:Nb_2O_5=65:35$ 程度までの間の組成を有する出発原料を、 $KNbO_3$ と $3K_2O \cdot Nb_2O_5$ の共晶温度 $845^\circ C$ 以上に存在する $KNbO_3$ と液相との共存領域に置くことにより、得られる。即ち図2において、組成 C_1 を有する出発原料を液相線温度 T_{11} から結晶成長温度 T_{12} へ冷却したとき、液相中から $KNbO_3$ が析出し、液相は T_{12} を液相線温度とする組成 C_2 までK過剰側にずれる。このときの結晶成長速度は C_1-C_2 が大きいほど速くなるので、 $KNbO_3$ よりも若干K過剰ではあるが $KNbO_3$ に近い組成を、なるべく $KNbO_3$ と $3K_2O \cdot Nb_2O_5$ の共晶温度 $845^\circ C$ 付近まで冷却することが望ましい。ただし、以上の挙動は、大気中においてのものであり、しかも大量の液相中から $KNbO_3$ バルク単結晶を成長させる場合においてのものである。

【0011】

そこで本発明は、大気中で液相中から単結晶を析出させる結晶成長プロセスを

特願2003-013608

減圧下の気相法による薄膜作製プロセスに適用し、各種単結晶基板上で高品質な KNbO_3 単結晶薄膜をエピタキシャル成長させ、さらには、高周波化に対応でき k^2 が高く、小型化や省電力化の効果の期待できる表面弾性波素子を提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】

[ニオブ酸カリウム薄膜の製造方法]

請求項1記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、気相法によるニオブ酸カリウム薄膜の製造工程において、基板を所定の酸素分圧下で KNbO_3 と $3\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Nb}_2\text{O}_5$ との共晶温度以上完全熔融温度以下、すなわち KNbO_3 と液相とが共存する温度領域に保持し、気相原料を基板上に固液共存状態で堆積し、液相中から KNbO_3 を固相として析出させることにより KNbO_3 薄膜を成長させることを特徴とする。

【0013】

上記方法によれば、液相中から単結晶状のニオブ酸カリウム薄膜を得ることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が得られるという効果を有する。

【0014】

請求項2記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項1記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、気相として蒸発させる出発原料の組成が、 $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 50 : 50$ から $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 65 : 35$ の間にあることを特徴とする。

【0015】

上記方法によれば、 $\text{K} : \text{Nb} = 50 : 50$ からの組成ずれのないニオブ酸カリウム単結晶薄膜を得ることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が得られるという効果を有する。

【0016】

請求項3記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項1ないし2記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記基板が、その表面

において結晶軸が表面に垂直かつ平行な方向ともに配向した構造であり、液相から析出する KNbO_3 が基板を種結晶として単結晶成長することを特徴とする。

【0017】

上記方法によれば、基板を種結晶として薄膜全体にわたって配向方向がそろったニオブ酸カリウム単結晶薄膜を得ることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が得られるという効果を有する。

【0018】

請求項4記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項3記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、ニオブ酸カリウム薄膜の製造工程が、単結晶成長後に表面に残留した液相成分の付着層を、物理的あるいは化学的に除去する工程を含むことを特徴とする。

【0019】

上記方法によれば、 $\text{K}:\text{Nb}=50:50$ からK過剰側に組成のずれた液相成分を除去することによって単一相のニオブ酸カリウム単結晶薄膜を得ることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が得られるという効果を有する。

【0020】

請求項5記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項3ないし4記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、ニオブ酸カリウム薄膜の製造工程が、液相から KNbO_3 を析出させる工程の前に、結晶性向上を目的としてあらかじめ低堆積速度で基板表面をニオブ原子、カリウム原子で終端させる工程を含むことを特徴とする。

【0021】

上記方法によれば、ニオブ酸カリウム単結晶薄膜の結晶性を向上させることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が得られるという効果を有する。

【0022】

請求項6記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項3ないし5記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記基板が、シリコン単結晶基板と、前記シリコン単結晶基板上にエピタキシャル成長したバッファ層

と、前記バッファ層上にエピタキシャル成長したニオブ酸カリウム単結晶薄膜と、からなる構造であることを特徴とする。

【0023】

上記方法によれば、ニオブ酸カリウム単結晶薄膜をシリコン単結晶基板の上に成長させることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が低コストで得られるという効果を有する。

【0024】

請求項7記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項6記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、シリコンよりも熱力学的に酸素と結合しやすい金属を含むNaCl型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、からなることを特徴とする。

【0025】

上記方法によれば、高品質のニオブ酸カリウム単結晶薄膜をシリコン単結晶基板の上にエピタキシャル成長させることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が低コストで得られるという効果を有する。

【0026】

請求項8記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項6記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、シリコンよりも熱力学的に酸素と結合しやすい金属を含むフルオライト型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した層状ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、前記第二バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第三のバッファ層と、からなることを特徴とする。

【0027】

上記方法によれば、高品質のニオブ酸カリウム単結晶薄膜をシリコン基板の上にエピタキシャル成長させることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が低コストで得られるという効果を有する。

【0028】

請求項9記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項3ないし5

記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記基板が、単結晶、多結晶、アモルファスのいずれかの基板と、前記基板上に、イオンビーム照射を伴う気相法によって、前記基板の結晶方位と無関係に面内配向成長したバッファ層と、前記バッファ層上にエピタキシャル成長したニオブ酸カリウム単結晶薄膜と、からなる構造であることを特徴とする。

【0029】

上記方法によれば、ニオブ酸カリウム単結晶薄膜を任意の基板の上に成長させることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が低コストで得られるという効果を有する。

【0030】

請求項10記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項9記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、NaCl型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、からなることを特徴とする。

【0031】

上記方法によれば、ニオブ酸カリウム単結晶薄膜を任意の基板の上に成長させることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が低コストで得られるという効果を有する。

【0032】

請求項11記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法は、請求項9記載のニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法において、上記バッファ層が、フルオライト型酸化物からなる第一のバッファ層と、前記第一バッファ層上に堆積した層状ペロブスカイト型酸化物からなる第二のバッファ層と、前記第二バッファ層上に堆積した単純ペロブスカイト型酸化物からなる第三のバッファ層と、からなることを特徴とする。

【0033】

上記方法によれば、ニオブ酸カリウム単結晶薄膜を任意の基板の上に成長させることができ、電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が低コストで得られる

という効果を有する。

【0034】

〔表面弾性波素子〕

請求項 12 記載の表面弾性波素子は、請求項 1 ないし 11 記載の製造方法によって作製されたニオブ酸カリウム単結晶薄膜を有することを特徴とする。

【0035】

上記方法によれば、電気機械結合係数の大きなニオブ酸カリウム単結晶薄膜を用いることによって、表面弾性波素子の小型化を実現することができるという効果を有する。

【0036】

〔周波数フィルタ〕

請求項 13 記載の周波数フィルタは、請求項 12 記載の表面弾性波素子を含むことを特徴とする。

【0037】

上記方法によれば、電気機械結合係数の大きなニオブ酸カリウム単結晶薄膜を用いることによって、フィルタ特性の広帯域化を実現することができるという効果を有する。

【0038】

〔周波数発振器〕

請求項 14 記載の周波数発振器は、請求項 12 記載の表面弾性波素子を含むことを特徴とする。

【0039】

上記方法によれば、電気機械結合係数の大きなニオブ酸カリウム単結晶薄膜を用いることによって、周波数発振器の小型化を実現することができるという効果を有する。

【0040】

〔電子回路〕

請求項 15 記載の電子回路は、請求項 14 記載の周波数発振器を含むことを特徴とする。

【0041】

上記方法によれば、電気機械結合係数の大きなニオブ酸カリウム単結晶薄膜を用いることによって、電子回路の省電力化を実現することができるという効果を有する。

【0042】**〔電子機器〕**

請求項16記載の電子機器は、請求項13記載の周波数フィルタ、請求項14記載の周波数発振器、請求項15記載の電子回路の少なくとも1つを含むことを特徴とする。

【0043】

上記方法によれば、電気機械結合係数の大きなニオブ酸カリウム単結晶薄膜を用いることによって、電子機器の小型化、広帯域化、省電力化を実現することができるという効果を有する。

【0044】**【発明の実施の形態】**

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

〔ニオブ酸カリウム薄膜の製造方法の第1の実施形態〕

図3、4はそれぞれ、本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第1の実施形態を表す断面図であり、反射高速電子線回折（Reflection High Energy Electron Diffraction（RHEED））により観察された基板表面の回折パターンである。

【0045】

本実施の形態に係るニオブ酸カリウム単結晶薄膜100は、 SrTiO_3 単結晶基板11と、前記 SrTiO_3 単結晶基板11上にエピタキシャル成長したK、Nb、Oからなる初期層12と、前記初期層12上にエピタキシャル成長した KNbO_3 単結晶層13とからなる。 SrTiO_3 単結晶基板11であるが、ここでは（100）基板が用いられている。初期層12であるが、 SrTiO_3 から KNbO_3 へ構造が移行するための界面層であり、構造および組成は限定されないが、 SrTiO_3 基板11上にエピタキシャル成長していればよく、その厚さ

は 5 nm である。K N b O₃ 単結晶層 13 であるが、ここでは K N b O₃ 単結晶薄膜が、斜方晶 (0 0 1) 配向または斜方晶 (1 1 0) 配向でエピタキシャル成長している。

【0046】

次に、上述したニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法について述べる。

【0047】

S r T i O₃ 単結晶基板 11 を有機溶媒に浸漬させ、超音波洗浄機を用いて脱脂洗浄を行う。ここで、有機溶媒としては、例えばエチルアルコールとアセトンの 1 : 1 混合液を使用することができるが、これに限るものではない。

【0048】

脱脂洗浄した S r T i O₃ 単結晶基板 11 を基板ホルダーに装填したあと、室温での背圧 1×10^{-8} T o r r の真空装置内に基板ホルダーごと導入し、 1×10^{-2} T o r r の酸素分圧になるように酸素ガスを導入し、赤外線ランプを用いて 20℃/分 で 500℃ まで加熱昇温する (図 3 (a))。このとき、図 4 (a) に示されるように、S r T i O₃ < 0 1 0 > 方向からの R H E E D パターンにはストリーク状の回折パターンが観測される。なお、昇温速度、基板温度、圧力などの条件は、これに限るものではない。

【0049】

次に、K_{1.2}N b O_x ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J / c m²、周波数 1 H z、パルス長 10 n s の条件で K r F エキシマレーザー (波長 248 n m) のパルス光を入射し、ターゲット表面に K、N b、O のプラズマプルームを発生させる。このプラズマプルームを、基板温度 500℃、酸素分圧 1×10^{-2} T o r r の条件で、ターゲットから 40 mm 離れた位置にある S r T i O₃ 単結晶基板 11 に 2 分間照射し、K_{1.2}N b O_x 層 14 を 2 nm 堆積した (図 3 (b))。図 4 (b) に示されるように、S r T i O₃ < 0 1 0 > 方向からの R H E E D パターンからは回折パターンが消え、K_{1.2}N b O_x 層 14 はエピタキシャル成長しない。その後再び赤外線ランプを用いて 20℃/分 で 850℃ まで加熱昇温すると、図 4 (c) に示されるように、750 ~ 800℃ でスポットパターンが現れ、800℃ 以上では変化しなかった。即ち、800℃ 以上では K_{1.2}N b O_x

層が KNbO_3 と液相の共存状態になった後、液相のほとんどが蒸発し（図3（c））、残った KNbO_3 が基板と反応してK、Nb、Sr、Ti、Oからなる表面を形成したと考えられる。従って、酸素分圧 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ における共晶温度は $750 \sim 800^\circ\text{C}$ にあることが分かった。なお、照射時の各条件は、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下、レーザー周波数が 1 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 700°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが、K、Nbプラズマが十分基板に到達できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。さらに、ターゲットとして、 $\text{K}_{1.2}\text{NbO}_x$ の代わりに $\text{K}_2\text{O}:\text{Nb}_2\text{O}_5=50:50$ から $\text{K}_2\text{O}:\text{Nb}_2\text{O}_5=65:35$ までの組成のターゲットを用いても同様の効果が得られる。

【0050】

次に、 $\text{K}_{1.2}\text{NbO}_x$ ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 1 Hz 、パルス長 10 ns の条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を照射し、発生したK、Nb、Oのプラズマブルームを、基板温度 800°C 、酸素分圧 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ の条件で、ターゲットから 40 mm 離れた位置にあるSrTiO₃単結晶基板11に5分間照射し、K、Nb、Oからなる初期層12を 5 nm 堆積した（図3（d））。図4（d）に示されるように、 $\text{SrTiO}_3 \langle 010 \rangle$ 方向からのRHEEDパターンにはスポット状の回折パターンが現れ、初期層12がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下、レーザー周波数が 1 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 750°C 以上 850°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが、K、Nbプラズマが十分基板に到達でき、初期層として低堆積速度でエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。さらに、ターゲットとして、 $\text{K}_{1.2}\text{NbO}_x$ の代わりに $\text{K}_2\text{O}:\text{Nb}_2\text{O}_5=50:50$ から $\text{K}_2\text{O}:\text{Nb}_2\text{O}_5=65:35$ までの組成のターゲットを用いても同様の効果が得られる。

【0051】

次に、 $K_{1.2}NbO_x$ ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 20 Hz 、パルス長 10 ns の条件で KrF エキシマレーザーのパルス光を入射し、 K 、 Nb 、 O のプラズマプルームを、基板温度 800°C 、酸素分圧 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ の条件で、ターゲットから 40 mm 離れた位置にある $SrTiO_3$ 単結晶基板 11 に 60 分間照射し、 $K_{1.2}NbO_x$ 層 15 を 500 nm 堆積した。ここで $K_{1.2}NbO_x$ 層 15 中には固相と液相が共存しており、図 3 (e) に示されるように、基板を結晶成長の核として、 $KNbO_3$ 単結晶層 13 が 400 nm 成長し、その上に液相 16 が 100 nm 残留した。図 4 (e) に示されるように、 $SrTiO_3 \langle 010 \rangle$ 方向からの RHEED パターンには図 4 (d) のような明確な回折パターンは現れず、表面に液相 16 が存在していることが分かる。なお、各条件は、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下、レーザー周波数が 10 Hz 以上、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 750°C 以上 850°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが、 K 、 Nb のプラズマが十分に基板に到達でき、かつ K の蒸気圧を高くして基板からの K の蒸発を抑えることができるならば、各条件はこれに限るものではない。さらに、ターゲットとして、 $K_{1.2}NbO_x$ の代わりに $K_2O : Nb_2O_5 = 50 : 50$ から $K_2O : Nb_2O_5 = 65 : 35$ までの組成のターゲットを用いても同様の効果が得られる。

【0052】

次に、基板温度 850°C 、酸素分圧 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ の条件で、基板を 60 分間熱処理した。このとき、基板表面に残留した液相 16 は蒸発し (図 3 (f))、図 4 (f) に示すように、RHEED パターンはより明確に観察された。また、前記 850°C での熱処理工程を省略した $KNbO_3$ 単結晶薄膜の X 線回折パターンを図 5 (a) に、前記 850°C での熱処理工程を行った $KNbO_3$ 単結晶薄膜の X 線回折パターンを図 5 (b) に示すが、 $KNbO_3$ ではない異相のピーク強度に差があり、熱処理工程の際の液相の蒸発によって、単一相が得られることが明らかである。なお、各条件は、基板温度が 800°C 以上 900°C 以下、酸素分圧が $1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが、液相が蒸発できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。また、熱処理による

蒸発によって液相を除去する方法以外でも、化学的または物理的に表面をエッチングまたは研磨することによっても同様の効果が得られる。

【0053】

得られた薄膜は、図6の断面SEM写真に示すように、きれいなへき開面が観察されることから、 KNbO_3 の単結晶から構成されていることが分かる。また、X線回折結果と合わせると、 KNbO_3 、 SrTiO_3 をそれぞれ斜方晶、立方晶指数表示した場合、膜面に垂直方向に $\text{KNbO}_3(001)/\text{SrTiO}_3(100)$ 、面内で $\text{KNbO}_3\langle 110 \rangle//\text{SrTiO}_3\langle 001 \rangle$ の方位関係を有していた。

【0054】

〔表面弾性波素子の第1の実施形態〕

図7は本発明における表面弾性波素子の第1の実施形態を表す断面図である。

【0055】

まず、金属アルミニウムを用いた真空蒸着により、基板温度 25°C 、真空度 10 Torr 、アルゴン：酸素＝9：1の条件で、 KNbO_3 単結晶層13上にAl電極17を 100 nm 堆積した。ただし、基板温度、真空度、アルゴン酸素比は、これに限るものではない。

【0056】

次に、Al電極17に対して、レジスト塗布、露光、ドライエッチング、レジスト除去によるパターンニングの連続プロセスを行い、 KNbO_3 単結晶層13上にIDT電極18、19を形成した。

【0057】

得られた表面弾性波素子について、IDT電極18、19の間での表面弾性波の遅延時間 V_{open} から求めた音速は 4000 m/s であった。IDT電極18、19の間を金属薄膜で覆った場合の表面弾性波の遅延時間 V_{short} との差から求めた k^2 は25%であった。 KNbO_3 単結晶薄膜作製を行わなかった場合、音速 4000 m/s は同じであるが、 k^2 は10%と小さくなり、 KNbO_3 薄膜を単結晶化することによって、 k^2 が改善することが明らかとなった。

【0058】

また、 KNbO_3 の代わりに固溶体 $\text{K}_{1-x}\text{Na}_x\text{Nb}_{1-y}\text{Ta}_y\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) を用いた場合も同様の効果が得られた。

〔ニオブ酸カリウム薄膜の製造方法の第2の実施形態〕

図8は、本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第2の実施形態を表す断面図である。

【0059】

本実施の形態に係るニオブ酸カリウム単結晶薄膜200は、Si単結晶基板21と、前記Si単結晶基板21上にエピタキシャル成長したYSZからなる第一バッファ層a22と、前記、第一バッファ層a22上にエピタキシャル成長した CeO_2 からなる第一バッファ層b23と、前記第一バッファ層b23上にエピタキシャル成長した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ からなる第二バッファ層24と、前記第二バッファ層24上に堆積した SrTiO_3 からなる第三バッファ層25と、前記第三バッファ層25上にエピタキシャル成長したK、Nb、Oからなる初期層26と、前記初期層26上にエピタキシャル成長した KNbO_3 単結晶層27とからなる。

【0060】

Si単結晶基板21であるが、ここでは表面が自然酸化膜で被覆されたままの(100)単結晶基板が用いられている。

【0061】

第一バッファ層a22および第一バッファ層b23を構成する金属酸化物としては、NaCl構造またはフルオライト構造の金属酸化物が挙げられるが、これらの中でも、特に、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 、または、これらを含む固溶体のうちの少なくとも1種、または、YSZ、 CeO_2 、 ZrO_2 、または、これらを含む固溶体のうちの少なくとも1種、を用いるのが好ましい。ここでは、第一バッファ層が第一バッファ層a22、第一バッファ層b23の二層構造になっており、第一バッファ層aとして、YSZが立方晶(100)配向でエピタキシャル成長しており、その厚さは5nmである。また第一バッファ層b23として、 CeO_2 が立方晶(100)配向でエピタキシャル成長しており、その厚さは10nmである。第二バッファ層24であるが、ここでは $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ が

正方晶または斜方晶 (001) 配向でエピタキシャル成長しており、その厚さは 2 nm である。第三バッファ層 25 であるが、ここでは SrTiO_3 が立方晶 (100) 配向でエピタキシャル成長しており、その厚さは 100 nm である。

【0062】

ここで、第一バッファ層として、 MgO のような NaCl 構造の金属酸化物を用いる場合、第二バッファ層として、 SrTiO_3 が立方晶 (100) 配向でエピタキシャル成長し、第三バッファ層の無い構造でもよい。

【0063】

初期層 26 であるが、 SrTiO_3 から KNbO_3 へ構造が移行するための界面層であり、構造および組成は限定されないが、 SrTiO_3 第三バッファ層 25 上にエピタキシャル成長していればよく、その厚さは 5 nm である。 KNbO_3 単結晶層 27 であるが、ここでは KNbO_3 単結晶が斜方晶 (001) 配向または斜方晶 (110) 配向でエピタキシャル成長しており、その厚さは 400 nm である。

【0064】

次に、上述したニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法について述べる。

【0065】

Si 基板 21 を有機溶媒に浸漬させ、超音波洗浄機を用いて脱脂洗浄を行う。ここで、有機溶媒としては、例えばエチルアルコールとアセトンの 1 : 1 混合液を使用することができるが、これに限るものではない。また、通常の Si 基板の代表的な洗浄方法である RCA 洗浄や弗酸洗浄といった自然酸化膜を除去する工程を行う必要はない。その結果、 Si 基板 21 表面には、図 8 (a) に示すように自然酸化膜 28 が形成されている。

【0066】

脱脂洗浄した Si 基板 21 を基板ホルダーに装填したあと、室温での背圧 $1 \times 10^{-8} \text{ Torr}$ の真空装置内に基板ホルダーごと導入し、赤外線ランプを用いて $10^\circ\text{C}/\text{分}$ で 700°C まで加熱昇温する。途中 500°C 以上の温度領域で、自然酸化膜 28 が一部 SiO として蒸発するために、圧力が $1 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ 以上まで上昇するが、 700°C では $5 \times 10^{-7} \text{ Torr}$ 以下の一定値となる。ただし

、 $\text{Si} \langle 011 \rangle$ 方向からの RHEED パターンには回折パターンは観測されず、 $\text{Si} (100)$ 2×1 による再構成表面は形成されておらず、図 8 (a) に示される自然酸化膜 28 に覆われた Si 基板であることが分かる。なお、Si 基板表面に新たに熱酸化膜を形成しない範囲であれば、昇温速度、基板温度、圧力などの条件は、これに限るものではない。

【0067】

圧力が一定になった後、Si 基板 21 に対向して配置された YSZ ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 10 Hz 、パルス長 10 ns の条件で KrF エキシマレーザーのパルス光を入射し、ターゲット表面に Y、Zr、O からなるプラズマプルームを発生させる。このプラズマプルームをターゲットから 40 mm 離れた位置にある $\text{Si} (100)$ 基板 21 に照射し、基板温度 700°C 、堆積中の酸素分圧 $5 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ の条件で、基板に 10 分照射して YSZ 第一バッファ層 a22 を 5 nm 堆積した (図 8 (b))。 $\text{Si} \langle 011 \rangle$ 方向からの RHEED パターンにはストリーク状の回折パターンが現れ、YSZ バッファ層 22 がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、ターゲット組成が YSZ、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以上、レーザー周波数が 5 Hz 以上 15 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 650°C 以上 750°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが、Y、Zr プラズマが選択的に基板に到達でき、基板上の自然酸化膜を SiO_2 として除去しながら YSZ としてエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。ただし、条件によっては、YSZ 第一バッファ層 a22 は変化しないものの、Si 基板 21 の YSZ 第一バッファ層 a22 との界面には酸素が供給されて酸化膜が形成される場合がある。さらに、 ZrO_2 が立方晶として固溶体を形成するのであれば、Y の代わりに La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Mg、Ca、Sr、Ba を添加する場合も同様の効果が得られる。

【0068】

YSZ 第一バッファ層 a22 を堆積した後、基板に対向して配置された CeO

2ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 10 Hz 、パルス長 10 ns の条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を入射し、ターゲット表面にCe、Oのプラズマプルームを発生させる。このプラズマプルームをターゲットから 40 mm 離れた位置にあるSi基板21に照射し、基板温度 700°C 、堆積中の酸素分圧 $5 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ の条件で、基板に10分照射してCeO₂第一バッファ層b23を 10 nm 堆積した。Si<011>方向からのRHEEDパターンにはスポット状の回折パターンが現れ、CeO₂第一バッファ層b23がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、ターゲット組成がCeO₂、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以上、レーザー周波数が 5 Hz 以上 15 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 650°C 以上 750°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが、CeO₂としてエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。さらに、CeO₂が立方晶として固溶体を形成するのであれば、Pr、Zrを添加する場合も同様の効果が得られる。

【0069】

CeO₂第一バッファ層b23を堆積した後、基板に対向して配置されたYBa₂Cu₃O_xターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 5 Hz 、パルス長 10 ns の条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を入射し、ターゲット表面にY、Ba、Cu、Oのプラズマプルームを発生させる。このプラズマプルームをターゲットから 40 mm 離れた位置にあるSi基板21に照射し、基板温度 600°C 、堆積中の酸素分圧 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ の条件で、基板に2分照射してYBa₂Cu₃O_x第二バッファ層24を 2 nm 堆積した。Si<011>方向からのRHEEDパターンにはストリーク状の回折パターンが現れ、YBa₂Cu₃O_x第二バッファ層24がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、ターゲット組成がYBa₂Cu₃O_x、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下、レーザー周波数が 2 Hz 以上 10 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 550°C 以上 650°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが

、Y、Ba、Cu プラズマが 1 : 2 : 3 の定比で基板に到達でき、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ としてエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。また、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ の代わりに、 M_2RuO_4 ($\text{M}=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)、 RE_2NiO_4 ($\text{RE}=\text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Pm}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}, \text{Y}$) と NiO の固溶体、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ($\text{RE}=\text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Pm}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}$)、 $(\text{Bi}, \text{RE})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ($\text{RE}=\text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Pm}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}, \text{Y}$) を用いても同様の効果が得られる。

【0070】

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 第二バッファ層 24 を堆積した後、基板に対向して配置された SrTiO_3 ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 5 Hz 、パルス長 10 ns の条件で KrF エキシマレーザーのパルス光を入射し、ターゲット表面に Sr 、 Ti 、 O のプラズマプルームを発生させる。このプラズマプルームをターゲットから 40 mm 離れた位置にある Si 基板 21 に照射し、基板温度 600°C 、堆積中の酸素分圧 $1 \times 10^{-2} \text{ Torr}$ の条件で、 Si 基板 21 に 30 分照射して SrTiO_3 第三バッファ層 25 を 100 nm 堆積した (図 8 (c))。 $\text{Si} \langle 011 \rangle$ 方向からの RHEED パターンにはスポット状の回折パターンが現れ、 SrTiO_3 第三バッファ層 25 がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、ターゲット組成が SrTiO_3 、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下、レーザー周波数が 2 Hz 以上 10 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 550°C 以上 650°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$ 以上 $1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$ 以下が望ましいが、 Sr 、 Ti プラズマが 1 : 1 の定比で基板に到達でき、 SrTiO_3 としてエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。また、 SrTiO_3 の代わりに、 MTiO_3 ($\text{M}=\text{Ca}, \text{Ba}$)、 $(\text{RE}, \text{M})\text{AlO}_3$ ($\text{RE}=\text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Pm}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}, \text{Y}$ 、 $\text{M}=\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)、 REGaO_3 ($\text{RE}=\text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Pm}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}$

、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y)、を用いても同様の効果が得られる。

【0071】

次に、 $K_{1.2}NbO_x$ ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 1 Hz 、パルス長 10 ns の条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を入射し、発生したK、Nb、Oのプラズマプルームを、基板温度 800°C 、酸素分圧 $1\times 10^{-2}\text{ Torr}$ の条件で、ターゲットから 40 mm 離れた位置にあるSi基板21に5分間照射し、K、Nb、Oからなる初期層26を 5 nm 堆積した(図8(d))。Si<011>方向からのRHEEDパターンにはスポット状の回折パターンが現れ、初期層26がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下、レーザー周波数が 1 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、基板温度が 750°C 以上 850°C 以下、堆積中の酸素分圧が $1\times 10^{-3}\text{ Torr}$ 以上 $1\times 10^{-1}\text{ Torr}$ 以下が望ましいが、K、Nbプラズマが十分基板に到達でき、初期層としてエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。さらに、ターゲットとして、 $K_{1.2}NbO_x$ の代わりに $K_2O:Nb_2O_5=50:50$ から $K_2O:Nb_2O_5=65:35$ までの組成のターゲットを用いても同様の効果が得られる。

【0072】

次に、 $K_{1.2}NbO_x$ ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 20 Hz 、パルス長 10 ns の条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を入射し、K、Nb、Oのプラズマプルームを、基板温度 800°C 、酸素分圧 $1\times 10^{-2}\text{ Torr}$ の条件で、ターゲットから 40 mm 離れた位置にあるSi基板21に60分間照射し、 $K_{1.2}NbO_x$ 層29を 500 nm 堆積した(図8(e))。ここで $K_{1.2}NbO_x$ 層29中には固相と液相が共存しており、基板を結晶成長の核として、 $KNbO_3$ 単結晶層27が 400 nm 成長し、その上に液相30が 100 nm 残留した。Si<011>方向からのRHEEDパターンにはスポット状の回折パターンが現れ、 $KNbO_3$ 単結晶層27がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下

、レーザー周波数が10Hz以上、ターゲット基板間距離が30mm以上50mm以下、基板温度が750℃以上850℃以下、堆積中の酸素分圧が 1×10^{-3} Torr以上 1×10^{-1} Torr以下が望ましいが、K、Nbのプラズマが十分に基板に到達でき、かつKの蒸気圧を高くして基板からのKの蒸発を抑えることができるならば、各条件はこれに限るものではない。さらに、ターゲットとして、 $K_{1.2}NbO_x$ の代わりに $K_2O:Nb_2O_5=50:50$ から $K_2O:Nb_2O_5=65:35$ までの組成のターゲットを用いても同様の効果が得られる。

【0073】

次に、基板温度850℃、酸素分圧 1×10^{-2} Torrの条件で、基板を60分間熱処理した。このとき、基板表面に残留した液相30は蒸発し（図8（f））、RHEEDパターンはよりはっきりと観察された。この後冷却過程を経て得た $KNbO_3$ 単結晶薄膜のX線回折パターンの結果からも、 $KNbO_3$ ではない異相のピーク強度に差があり、熱処理工程の際の液相の蒸発によって、単一相が得られることが明らかになった。なお、各条件は、基板温度が800℃以上900℃以下、酸素分圧が 1×10^{-3} Torr以上 1×10^{-1} Torr以下が望ましいが、液相が蒸発できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。また、熱処理による蒸発によって液相を除去する方法以外でも、化学的または物理的に表面をエッチングまたは研磨することによっても同様の効果が得られる。

【0074】

得られた薄膜は、X線回折結果と合わせると、 $KNbO_3$ 、 $SrTiO_3$ 、 $YBa_2Cu_3O_x$ 、 CeO_2 、 YSZ 、 Si をそれぞれ斜方晶、立方晶、正方晶、立方晶、立方晶、立方晶で指数表示した場合、膜面に垂直方向に $KNbO_3(001)/SrTiO_3(100)/YBa_2Cu_3O_x(001)/CeO_2(100)/YSZ(100)/Si(100)$ 、面内で $KNbO_3(110)/SrTiO_3<010>/YBa_2Cu_3O_x<100>/CeO_2<011>/YSZ<011>/Si<011>$ の方位関係を有していた。

【0075】

〔表面弾性波素子の第2の実施形態〕

図9は本発明における表面弾性波素子の第2の実施形態を表す断面図である。

【0076】

表面弾性波素子の第1の実施形態と全く同様にして、 KNbO_3 単結晶層27上にIDT電極18、19を形成した。

【0077】

得られた表面弾性波素子について、IDT電極18、19の間での表面弾性波の遅延時間 V_{open} から求めた音速は 5000 m/s であった。IDT電極18、19の間を金属薄膜で覆った場合の表面弾性波の遅延時間 V_{short} との差から求めた k^2 は20%であった。 KNbO_3 単結晶薄膜作製を行わなかった場合、音速 5000 m/s は同じであるが、 k^2 は8%と小さくなり、 KNbO_3 薄膜を単結晶化することによって、 k^2 が改善することが明らかとなった。

【0078】

また、 KNbO_3 の代わりに固溶体 $\text{K}_{1-x}\text{Na}_x\text{Nb}_{1-y}\text{Ta}_y\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$)を用いた場合も同様の効果が得られた。

【0079】

〔ニオブ酸カリウム薄膜の製造方法の第3の実施形態〕

図10は、本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第3の実施形態を表す断面図である。

【0080】

本実施の形態に係るニオブ酸カリウム単結晶薄膜300は、基板31と、前記基板31上に面内配向成長した MgO からなる第一バッファ層32と、前記第一バッファ層32上に堆積した SrTiO_3 からなる第二バッファ層33と、前記第二バッファ層32上にエピタキシャル成長した K 、 Nb 、 O からなる初期層34と、前記初期層34上にエピタキシャル成長した KNbO_3 単結晶層35とからなる。

【0081】

基板31は、 Si 基板や SOI 基板を用いる場合には、表面が自然酸化膜で覆われているものを用いてもよく、あるいは、多結晶 YSZ 基板のようなセラミックス基板を用いてもよく、あるいは、ガラス基板のように全体がアモルファスの基板を用いてもよい。このような汎用的な基板を用いることにより、後述する表

面弾性波素子の製造コストを削減することができる。また、ペロブスカイト型酸化物がエピタキシャル成長できないような結晶構造の単結晶基板を用いてもよい。ここでは、表面弾性波素子用基板として重要な水晶基板が用いられている。

【0082】

第一バッファ層 32 を構成する金属酸化物としては、 NaCl 構造またはフルオライト構造の金属酸化物が挙げられるが、これらの中でも、特に、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 、または、これらを含む固溶体のうちの少なくとも 1 種、または、 YSZ 、 CeO_2 、 ZrO_2 、または、これらを含む固溶体のうちの少なくとも 1 種、を用いるのが好ましい。さらに、第一バッファ層 32 は、面内配向成長しているが、その方向は、バッファ層堆積中に別に照射するアルゴンイオンビームの照射方向を変えることにより、任意に設定することが可能である。ここでは、第一バッファ層 32 として、 MgO が立方晶 (100) 配向で面内配向成長しており、その厚さは 10 nm である。第二バッファ層 33 であるが、ここでは SrTiO_3 が立方晶 (100) 配向でエピタキシャル成長しており、その厚さは 100 nm である。

【0083】

ここで、第一バッファ層として、 YSZ あるいは YSZ/CeO_2 のようなフルオライト構造の金属酸化物を用いる場合、第二バッファ層として、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ などの層状ペロブスカイト構造の金属酸化物が正方晶または斜方晶 (001) 配向でエピタキシャル成長し、さらにその上に第三バッファ層として、 SrTiO_3 が立方晶 (100) 配向でエピタキシャル成長した構造でもよい。

【0084】

初期層 34 であるが、 SrTiO_3 から KNbO_3 へ構造が移行するための界面層であり、構造および組成は限定されないが、 SrTiO_3 第二バッファ層 33 上にエピタキシャル成長していればよく、その厚さは 5 nm である。 KNbO_3 単結晶層 35 であるが、ここでは KNbO_3 単結晶薄膜が斜方晶 (001) 配向または斜方晶 (110) 配向でエピタキシャル成長している。

【0085】

次に、上述したニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法について述べる。

【0086】

水晶基板 31 を有機溶媒に浸漬させ、超音波洗浄機を用いて脱脂洗浄を行う。ここで、有機溶媒としては、例えばエチルアルコールとアセトンの 1 : 1 混合液を使用することができるが、これに限るものではない。

【0087】

脱脂洗浄した水晶基板 31 を基板ホルダーに装填したあと、室温での背圧 1×10^{-6} Torr の真空装置内に基板ホルダーごと導入し、アルゴン：酸素 = 100 : 1 で 1×10^{-4} Torr の圧力になるように混合ガスを導入する（図 10 (a)）。なお、圧力の条件は、これに限るものではない。

【0088】

まず始めに、基板に対向して配置された Mg ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数 10 Hz、パルス長 10 ns の条件で KrF エキシマレーザーのパルス光を入射し、ターゲット表面に Mg のプラズマプルームを発生させる。このプラズマプルームをターゲットから 40 mm 離れた位置にある水晶基板 31 に照射し、基板温度 50℃、堆積中の圧力 1×10^{-4} Torr の条件で、基板に 10 分照射して MgO 第一バッファ層 32 を 10 nm 堆積した（図 10 (b)）。このとき、基板の法線方向と 45 度をなす方向から、アルゴンイオンビームを水晶基板 31 に照射する。ここで、ソース源としては Kaufmann イオンソースを用い、イオンビームの加速電圧を 200 eV 程度、電流を 10 mA 程度とするのが好ましい。ヒーターによる基板加熱は行わないが、アルゴンイオンビームの衝撃により基板温度は 50～70 度に上昇する。RHEED パターンにはスポット状の回折パターンが現れ、MgO 第一バッファ層 32 がエпитキシャル成長した。なお、その他の各条件は、ターゲット組成が Mg または MgO、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以上、レーザー周波数が 5 Hz 以上 15 Hz 以下、ターゲット基板間距離が 30 mm 以上 50 mm 以下、堆積中の圧力が 1×10^{-5} Torr 以上 1×10^{-4} Torr 以下が望ましいが、MgO として面内配向成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。

【0089】

MgO第一バッファ層32を堆積した後、基板に対向して配置されたSrTiO₃ターゲット表面に、エネルギー密度2.5 J/cm²、周波数5 Hz、パルス長10 nsの条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を入射し、ターゲット表面にSr、Ti、Oのプラズマブルームを発生させる。このプラズマブルームをターゲットから40 mm離れた位置にある水晶基板31に照射し、基板温度600℃、堆積中の酸素分圧1×10⁻² Torrの条件で、基板に30分照射してSrTiO₃第二バッファ層33を100 nm堆積した(図10(c))。RHEEDパターンにはスポット状の回折パターンが現れ、SrTiO₃第二バッファ層33がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、ターゲット組成がSrTiO₃、レーザーエネルギー密度が2 J/cm²以上3 J/cm²以下、レーザー周波数が2 Hz以上10 Hz以下、ターゲット基板間距離が30 mm以上50 mm以下、基板温度が550℃以上650℃以下、堆積中の圧力が1×10⁻³ Torr以上1×10⁻¹ Torr以下が望ましいが、Sr、Tiプラズマが1:1の定比で基板に到達でき、SrTiO₃としてエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。また、SrTiO₃の代わりに、MTiO₃ (M=Ca、Ba)、(RE、M)AlO₃ (RE=La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y、M=Mg、Ca、Sr、Ba)、REGaO₃ (RE=La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y)、を用いても同様の効果が得られる。

【0090】

次に、K_{1.2}NbO_xターゲット表面に、エネルギー密度2.5 J/cm²、周波数1 Hz、パルス長10 nsの条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を入射し、発生したK、Nb、Oのプラズマブルームを、基板温度800℃、酸素分圧1×10⁻² Torrの条件で、ターゲットから40 mm離れた位置にある水晶基板31に5分間照射し、K、Nb、Oからなる初期層34を5 nm堆積した(図10(d))。RHEEDパターンにはスポット状の回折パターンが現れ、初期層34がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、レーザーエネルギー密度が2 J/cm²以上3 J/cm²以下、レーザー周波数が1 Hz以下、ターゲット

基板間距離が30 mm以上50 mm以下、基板温度が750℃以上850℃以下、堆積中の酸素分圧が 1×10^{-3} Torr以上 1×10^{-1} Torr以下が望ましいが、K、Nbプラズマが十分基板に到達でき、初期層としてエピタキシャル成長できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。さらに、ターゲットとして、 $K_{1.2}NbO_x$ の代わりに $K_2O:Nb_2O_5=50:50$ から $K_2O:Nb_2O_5=65:35$ までの組成のターゲットを用いても同様の効果が得られる。

【0091】

次に、 $K_{1.2}NbO_x$ ターゲット表面に、エネルギー密度 2.5 J/cm^2 、周波数20 Hz、パルス長10 nsの条件でKrFエキシマレーザーのパルス光を入射し、K、Nb、Oのプラズマプルームを、基板温度800℃、酸素分圧 1×10^{-2} Torrの条件で、ターゲットから40 mm離れた位置にある水晶基板31に60分間照射し、 $K_{1.2}NbO_x$ 層36を500 nm堆積した(図10(e))。ここで $K_{1.2}NbO_x$ 層36中には固相と液相が共存しており、基板を結晶成長の核として、 $KNbO_3$ 単結晶層35が400 nm成長し、その上に液相37が100 nm残留した。RHEEDパターンにはストリーク状の回折パターンが現れ、 $KNbO_3$ 単結晶層35がエピタキシャル成長した。なお、各条件は、レーザーエネルギー密度が 2 J/cm^2 以上 3 J/cm^2 以下、レーザー周波数が10 Hz以上、ターゲット基板間距離が30 mm以上50 mm以下、基板温度が750℃以上850℃以下、堆積中の酸素分圧が 1×10^{-3} Torr以上 1×10^{-1} Torr以下が望ましいが、K、Nbのプラズマが十分基板に到達でき、かつKの蒸気圧を高くして基板からのKの蒸発を抑えることができるならば、各条件はこれに限るものではない。さらに、ターゲットとして、 $K_{1.2}NbO_x$ の代わりに $K_2O:Nb_2O_5=50:50$ から $K_2O:Nb_2O_5=65:35$ までの組成のターゲットを用いても同様の効果が得られる。

【0092】

次に、基板温度850℃、酸素分圧 1×10^{-2} Torrの条件で、基板を60分間熱処理した。このとき、基板表面に残留した液相37は蒸発し(図10(f))、RHEEDパターンはよりはっきりと観察された。この後冷却過程を経て得た $KNbO_3$ 単結晶薄膜のX線回折パターンの結果からも、 $KNbO_3$ ではない

異相のピーク強度に差があり、熱処理工程の際の液相の蒸発によって、単一相が得られることが明らかである。なお、各条件は、基板温度が800℃以上900℃以下、酸素分圧が 1×10^{-3} Torr以上 1×10^{-1} Torr以下が望ましいが、液相が蒸発できるのであれば、各条件はこれに限るものではない。また、熱処理による蒸発によって液相を除去する方法以外でも、化学的または物理的に表面をエッチングまたは研磨することによっても同様の効果が得られる。

【0093】

得られた薄膜は、X線回折結果と合わせると、 KNbO_3 、 SrTiO_3 をそれぞれ斜方晶、立方晶指数表示した場合、膜面に垂直方向に $\text{KNbO}_3(001)$ ／ $\text{SrTiO}_3(100)$ ／ $\text{MgO}(100)$ 、面内で $\text{KNbO}_3\langle 110 \rangle$ ／／ $\text{SrTiO}_3\langle 010 \rangle$ ／／ $\text{MgO}\langle 010 \rangle$ の方位関係を有していた。

【0094】

〔表面弾性波素子の第3の実施形態〕

図11は本発明における表面弾性波素子の第3の実施形態を表す断面図である。

【0095】

表面弾性波素子の第1の実施形態と全く同様にして、 KNbO_3 単結晶層35上にIDT電極18、19を形成した。

【0096】

得られた表面弾性波素子について、IDT電極18、19の間での表面弾性波の遅延時間 V_{open} から求めた音速は3000m/sであった。IDT電極18、19の間を金属薄膜で覆った場合の表面弾性波の遅延時間 V_{short} との差から求めた k^2 は15%であった。 KNbO_3 単結晶薄膜作製を行わなかった場合、音速3000m/sは同じであるが、 k^2 は5%と小さくなり、 KNbO_3 薄膜を単結晶化することによって、 k^2 が改善することが明らかとなった。

【0097】

また、 KNbO_3 の代わりに固溶体 $\text{K}_{1-x}\text{Na}_x\text{Nb}_{1-y}\text{Ta}_y\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$)を用いた場合も同様の効果が得られた。

【0098】

〔周波数フィルタ〕

図12は、本発明の一実施形態による周波数フィルタの外観を示す斜視図である。図12に示した周波数フィルタは、基板400を有する。該基板400は、例えば、図3に示した、 SrTiO_3 (100) 単結晶基板11上に、K、Nb、Oからなる初期層12、 KNbO_3 単結晶層13を順次積層して形成した基板、または図8に示した、 Si (100) 単結晶基板21上に、YSZ第一バッファ層a22、 CeO_2 第一バッファ層b23、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 第二バッファ層24、 SrTiO_3 第三バッファ層25、K、Nb、Oからなる初期層26、及び KNbO_3 単結晶層27を順次積層して形成した基板、または図10に示した、基板31上に、 MgO 第一バッファ層32、 SrTiO_3 第二バッファ層33、K、Nb、Oからなる初期層34、及び KNbO_3 圧電体層35を順次積層して形成した基板である。

【0099】

基板400の上面には、IDT電極41及びIDT電極42が形成されている。IDT電極41、42は、例えば、Al、またはAl合金により形成され、IDT電極41、42の厚みは、IDT電極41、42のピッチの100分の1程度に設定される。また、IDT電極41、42を挟み込むように、基板400の上面には、吸音部43、44が形成されている。吸音材43、44は、基板400の表面を伝播する表面弾性波を吸収するものである。基板400上に形成されたIDT基板41には高周波信号源45が接続されており、IDT電極42には信号線が接続されている。なお、IDT電極41は、本発明にいう第1の電極に相当し、IDT電極42は、本発明にいう第2の電極に相当する。

【0100】

上記の構成において、高周波信号源45から高周波信号が出力されると、該周波数信号は、IDT電極41に印加され、基板400の上面に表面弾性波が発生する。該表面弾性波は、約4000 m/s程度の速度で基板400上面を伝播する。IDT電極41から吸音部43側へ伝播した表面弾性波は、吸音部43で吸収されるが、IDT電極42側へ伝播した表面弾性波のうち、IDT電極42のピッチ等に応じて定まる特定の周波数、または、特定の帯域の周波数の表面弾性

波は、電気信号に変換されて、信号線を介して端子 46 a、46 b に取り出される。なお、上記特定の周波数、または、特定の帯域の周波数以外の周波数成分は、大部分が IDT 電極 42 を通過して吸音部 44 に吸収される。

【0101】

このように、本実施形態の周波数フィルタが備える IDT 電極 41 に供給した電気信号のうち、特定の周波数、または、特定の帯域の周波数の表面弾性波のみを得る（フィルタリング）することが可能となる。

【0102】

〔周波数発振器〕

図 13 は、本発明の一実施形態による周波数発振器の外観を示す斜視図である。図 13 に示した周波数発振器は、基板 500 を有する。該基板 500 は、例えば、図 3 に示した、 SrTiO_3 (100) 単結晶基板 11 上に、K、Nb、O からなる初期層 12、 KNbO_3 単結晶層 13 を順次積層して形成した基板、または図 8 に示した、 Si (100) 単結晶基板 21 上に、YSZ 第一バッファ層 a22、 CeO_2 第一バッファ層 b23、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 第二バッファ層 24、 SrTiO_3 第三バッファ層 25、K、Nb、O からなる初期層 26、及び KNbO_3 単結晶層 27 を順次積層して形成した基板、または図 10 に示した、基板 31 上に、 MgO 第一バッファ層 32、 SrTiO_3 第二バッファ層 33、K、Nb、O からなる初期層 34、及び KNbO_3 圧電体層 35 を順次積層して形成した基板である。

【0103】

基板 500 の上面には、IDT 電極 51 が形成されており、さらに、IDT 電極 51 を挟み込むように、IDT 電極 52、53 が形成されている。IDT 電極 51～53 は、例えば Al、または、Al 合金により形成され、IDT 電極 51 から 53 のそれぞれの厚みは、IDT 電極 51 から 53 の各ピッチの 100 分の 1 程度に設定される。また、IDT 電極 51 を構成する一方の櫛歯状電極 51 a には、高周波信号源 54 が接続されており、他方の櫛歯状電極 51 b には信号線が接続されている。なお、IDT 52、53 は、IDT 51 によって発生される表面弾性波の特定の周波数成分、または、特定の帯域の周波数成分を共振させる

本発明にいう共振用電極に相当する。

【0104】

上記の構成において、高周波信号源 54 から高周波信号が出力されると、該周波数信号は、IDT 電極 51 の一方の櫛歯状電極 51a に印加され、基板 500 の上面に IDT 電極 52 側に伝播する表面弾性波、及び IDT 電極 53 側に伝播する表面弾性波が発生する。該表面弾性波は、約 4000 m/s 程度の速度である。これらの表面弾性波のうちの特定の周波数成分の表面弾性波は、IDT 電極 52 及び IDT 電極 53 で反射され、IDT 電極 52 と IDT 電極 53 との間には定在波が発生する。この特定の周波数成分の表面弾性波が IDT 52、53 で反射を繰り返すことにより、特定の周波数成分、または、特定の帯域の周波数成分が共振して、振幅が増大する。この特定の周波数成分、または、特定の帯域の周波数成分の表面弾性波の一部は、IDT 電極 51 の他方の櫛歯状電極 51b から取り出され、IDT 電極 52 と IDT 電極 53 との共振周波数に応じて周波数（または、ある程度の帯域を有する周波数）の電気信号が端子 55a と端子 55b に取り出すことが可能となる。

【0105】

図 14 は、本発明の実施形態の表面弾性波素子（周波数発振器）を VCSO（Voltage Controlled SAW Oscillator：電圧制御 SAW 発振器）に応用した一例を示す図であり、(a) は、側面透視図であり、(b) は、上面透視図である。VCSO は、金属製（アルミニウム、または、ステンレススチール製）の筐体 600 内部に実装される。61 は基板であり、この基板上に IC（Integrated Circuit）62 及び周波数発振器 63 が実装されている。IC 62 は、外部の不図示の回路から入力される電圧値に応じて、周波数発振器 63 に印加する周波数を制御するものである。

【0106】

周波数発振器 63 は、基板 64 に、IDT 電極 65a～65c が形成されており、その構成は、図 13 に示した周波数発振器とほぼ同様である。なお、基板 64 は、例えば、図 3 に示した、SrTiO₃ (100) 単結晶基板 11 上に、K、Nb、O からなる初期層 12、KNbO₃ 単結晶層 13 を順次積層して形成し

た基板、または図 8 に示した、 $\text{Si}(100)$ 単結晶基板 21 上に、 YSZ 第一バッファ層 a22、 CeO_2 第一バッファ層 b23、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ 第二バッファ層 24、 SrTiO_3 第三バッファ層 25、K、Nb、O からなる初期層 26、及び KNbO_3 単結晶層 27 を順次積層して形成した基板、または図 10 に示した、基板 31 上に、 MgO 第一バッファ層 32、 SrTiO_3 第二バッファ層 33、K、Nb、O からなる初期層 34、及び KNbO_3 圧電体層 35 を順次積層して形成した基板である。

【0107】

基板 61 上には、IC62 と、周波数発振器 63 とを電氣的に接続するための配線 66 がパターンニングされている。IC62 及び配線 66 が、例えば、金線等のワイヤ線 67 によって接続され、周波数発振器 63 及び配線 66 が、金線等のワイヤ線 68 によって接続されることにより、IC62 と、周波数発振器 63 とが配線 66 を介して電氣的に接続されている。

【0108】

図 14 に示した VCSO は、例えば、図 15 に示す PLL 回路の VCO (Voltage Controlled Oscillator) として用いられる。ここで、PLL 回路について簡単に説明する。図 15 は、PLL 回路の基本構成を示すブロック図である。図 15 に示したように、PLL 回路は、位相比較器 71、低減フィルタ 72、増幅器 73、及び VCO 74 とから構成される。

【0109】

位相比較器 71 は、入力端子 70 から入力される信号の位相（または、周波数）とを比較し、その差に応じてあたいが設定される誤差電圧信号を出力する。低減フィルタ 72 は、位相比較器 71 から出力される誤差電圧信号の位置の低周波成分のみを通過させ、増幅器 73 は、低減フィルタ 72 から出力される信号を増幅する。VCO 74 は、入力される電圧値に応じてある範囲で連続的に発振周波数が変化する発振回路である。係り PLL 回路は、入力端子 70 から入力される位相（または、周波数）との差が減少するように動作し、VCO 74 から出力される信号の周波数を入力 70 から入力される信号の周波数に同期すると、その後は、一定の位相差を除いて入力端子 70 から入力される信号に一致し、また、入

力信号の変化に追従するような信号を出力する。

〔電子回路〕

図 16 は、本発明の一実施形態による電子回路の電氣的構成を示すブロック図である。なお、図 16 に示した電子回路は、例えば、図 17 に示す携帯電話機 1000 の内部に設けられる回路である。図 17 は、本発明の一実施形態による電子機器の一つとして携帯電話機の外観の一例を示す斜視図である。図 17 に示した携帯電話機 1000 は、アンテナ 101、受話器 102、送話機 103、液晶表示部 104、及び操作釦 105 等を備えている。

【0110】

図 16 に示した電子回路は、携帯電話機 1000 内に設けられる電子回路の基本構成を示し、送話機 80、送信信号処理回路 81、送信ミキサ 82、送信フィルタ 83、送信電力増幅器 84、送受分波器 85、アンテナ 86a、86b、低雑音増幅器 87、受信フィルタ 88、受信ミキサ 89、受信信号処理回路 90、受話器 91、周波数シンセサイザ 92、制御回路 93、及び入力／表示回路 94 を含んで構成される。なお、現在実用化されている。送信信号処理回路 81 は、送話器 80 から出力される電気信号に対して、例えば、D/A 変換処理、変調処理等の処理を施す回路である。送信ミキサ 82 は、携帯電話機は、周波数変換処理を複数回行っているため、その回路構成は、より複雑となっている。

【0111】

送話器 80 は、例えば、音波信号を電波信号に変換するマイクロフォン等で実現され、図 17 中の送話器 103 に相当するものである周波数シンセサイザ 92 から出力される信号を用いて送信信号処理回路 81 から出力される信号をミキシングする。なお、送信ミキサ 82 に供給される信号の周波数は、例えば、380 MHz である。送信フィルタ 83 は、中間周波数 (IF) の必要となる周波数の信号のみを通過させ、不要となる周波数の信号をカットする。なお、送信フィルタ 83 から出力される信号は、不図示の変換回路により RF 信号に変換される。この RF 信号の周波数は、例えば、1.9 GHz 程度である。送信電力増幅器 84 は、送信フィルタ 82 から出力される RF 信号の電力を増幅し、送受分波器 85 へ出力する。

【0 1 1 2】

送受分波器 8 5 は、送信電力増幅器 8 4 から出力される R F 信号をアンテナ 8 6 a、8 6 b から電波の形で送信する。また、送受分波器 8 5 は、アンテナ 8 6 a、8 6 b で受信した受信信号を分波して、低雑音増幅器 8 7 へ出力する。なお、送受分波器 8 5 から出力される受信信号の周波数は、例えば、2. 1 G H z 程度である。低雑音増幅器 8 7 は、送受分波器 8 5 からの受信信号を増幅する。なお、低雑音増幅器 8 7 から出力される信号は、不図示の変換回路により中間信号 (I F) に変換される。

【0 1 1 3】

受信フィルタ 8 8 は、不図示の変換回路により変換された中間周波数 (I F) の必要となる周波数の信号のみを通過させ、不要となる周波数の信号をカットする。受信ミキサ 8 9 は、周波数シンセサイザ 9 2 から出力される信号を用いて送信信号処理回路 8 1 から出力される信号をミキシングする。なお、受信ミキサ 8 9 に供給される中間周波数は、例えば、1 9 0 M H z 程度である。受信信号処理回路 8 0 は、受信ミキサ 8 9 から出力される信号に対して、例えば A / D 変換処理、復調処理等を施す回路である。受話器 9 1 は、例えば、電気信号を音波に変換する小型スピーカ等で実現され、図 1 7 中の受話器 1 0 2 に相当するものである。

【0 1 1 4】

周波数シンセサイザ 9 2 は、送信ミキサ 8 2 へ供給する信号（例えば、周波数 3 8 0 M H z 程度）及び受信ミキサ 8 9 へ供給する信号（例えば、周波数 3 8 0 M H z 程度）及び受信ミキサ 8 9 へ供給する信号（例えば、周波数 1 9 0 M H z 程度）を生成する回路である。なお、周波数シンセサイザ 9 2 は、例えば、7 6 0 M H z の発振周波数で発信する P L L 回路を備え、この P L L 回路から出力される信号を分周して周波数が 3 8 0 M H z の信号を生成し、さらに、分周して周波数が 1 9 0 M H z の信号を生成する。制御回路 9 3 は、送信信号処理回路 8 1、受信信号処理回路 9 0、周波数シンセサイザ 9 2、及び入力／表示回路 9 4 を制御することにより携帯電話機の全体動作を制御する。入力／表示回路 9 4 は、携帯電話機 1 0 0 0 の使用者に対して機器の状態を表示したり、操作者の指示を

入力するためのものであり、例えば、図 17 に示した液晶表示部 104 及び操作釦 105 に相当する。

【0115】

以上の構成の電子回路において、送信フィルタ 83 及び受信フィルタ 88 として図 12 に示した周波数フィルタが用いられる。フィルタリングする周波数（通過させる周波数）は、送信ミキサ 82 から出力される信号の内の必要となる周波数、及び受信ミキサ 89 で必要となる周波数に応じて送信フィルタ 83 及び受信フィルタ 88 で個別に設定されている。また、周波数シンセサイザ 92 内に設けられる PLL 回路は、図 15 に示した PLL 回路の VCO 64 として、図 13 に示した周波数発振器、または図 14 に示した周波数発振器（VCSO）を設けたものである。

【0116】

以上、本発明の実施形態による表面弾性波素子、周波数フィルタ、周波数発振器、電子回路、及び電子機器について説明したが、本発明は、上記実施形態に制限されず、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、上記実施形態においては電子機器として携帯電話機を、電子回路として携帯電話機内に設けられる電子回路を一例に挙げて説明した。しかしながら、本発明は、携帯電話機に限定されるものではなく、種々の移動体通信機器およびその内部に設けられる電子回路に適用することができる。

【0117】

さらに、移動体通信機器のみならず BS（Broadcast Satellite）及び CS（Commercial Satellite）放送を受信するチューナ等の据置状態で使用される通信機器及びその内部に設けられる電子回路にも適用することができる。また、通信キャリアとして空中を伝播する電波を使用する通信機器のみならず、同軸ケーブル中を伝播する高周波信号、または光ケーブル中を伝播する光信号を用いる HUB 等の電子機器及びその内部に設けられる電子回路にも適用することができる。

【0118】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、気相法による薄膜作製プロセスにおいて、ニオブ酸カリウムと $3\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Nb}_2\text{O}_5$ の共晶温度以上に保持した安価な各種基板に、 $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 50 : 50$ から $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 65 : 35$ の間にある組成の原料を高堆積速度で堆積し、基板を結晶成長の起点として液相中から組成ずれのない単結晶状のニオブ酸カリウム薄膜を成長させることにより、電気機械結合係数の大きな表面弾性波素子を実現することが可能になり、さらに前記表面弾性波素子を用いて、より小型の周波数フィルタあるいは周波数発振器を実現することが可能になり、さらには前記周波数発振器等を搭載することによって、電子回路や電子機器の省電力化を実現することが可能になる、という効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 $\text{K}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 二元系状態図。

【図 2】 出発原料を液相線温度から結晶成長温度へ冷却したとき、 KNbO_3 が析出し、液相は K 過剰側に組成がずれることを示す状態図。

【図 3】 本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第 1 の実施形態を表す断面図。

【図 4】 本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第 1 の実施形態において観察される RHHE D パターン。

【図 5】 本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第 1 の実施形態において、 850°C での熱処理工程の無い場合 (a)、有る場合 (b) で得られた KNbO_3 単結晶薄膜の X 線回折パターン。

【図 6】 本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第 1 の実施形態において得られた薄膜の断面 SEM 写真。

【図 7】 本発明における表面弾性波素子の第 1 の実施形態を表す断面図。

【図 8】 本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第 2 の実施形態を表す断面図。

【図 9】 本発明における表面弾性波素子の第 2 の実施形態を表す断面図。

【図 10】 本発明におけるニオブ酸カリウム単結晶薄膜の製造方法の第 3 の実施形態を表す断面図。

【図 11】 本発明における表面弾性波素子の第 3 の実施形態を表す断面図。

【図 12】 本発明の一実施形態による周波数フィルタの外観を示す斜視図。

【図 13】 本発明の一実施形態による周波数発振器の外観を示す斜視図。

【図 14】 本発明の実施形態の表面弾性波素子（周波数発振器）を V C S O（Voltage Controlled SAW Oscillator：電圧制御 SAW 発振器）に応用した一例を示す図。（a）は、側面透視図、（b）は、上面透視図。

【図 15】 PLL 回路の基本構成を示すブロック図。

【図 16】 本発明の一実施形態による電子回路の電氣的構成を示すブロック図。

【図 17】 本発明の一実施形態による電子機器の一つとして携帯電話機の外観の一例を示す斜視図。

【符号の説明】

- 100 ニオブ酸カリウム単結晶薄膜
- 200 ニオブ酸カリウム単結晶薄膜
- 300 ニオブ酸カリウム単結晶薄膜
- 400 基板
- 500 基板
- 600 筐体
- 1000 携帯電話機
- 11 SrTiO_3 (100) 単結晶基板
- 12 初期層
- 13 KNbO_3 単結晶層
- 14 $\text{K}_{1.2}\text{NbO}_x$ 層
- 15 $\text{K}_{1.2}\text{NbO}_x$ 層
- 16 液相
- 17 Al 電極
- 18 IDT 電極
- 19 IDT 電極

- 2 1 S i (1 0 0) 単結晶基板
- 2 2 Y S Z 第一バッファ層 a
- 2 3 C e O₂ 第一バッファ層 b
- 2 4 Y B a₂ C u₃ O_x 第二バッファ層
- 2 5 S r T i O₃ 第三バッファ層
- 2 6 初期層
- 2 7 K N b O₃ 単結晶層
- 2 8 自然酸化膜
- 2 9 K_{1.2} N b O_x 層
- 3 0 液相
- 3 1 水晶基板
- 3 2 M g O 第一バッファ層
- 3 3 S r T i O₃ 第二バッファ層
- 3 4 初期層
- 3 5 K N b O₃ 単結晶層
- 3 6 K_{1.2} N b O_x 層
- 3 7 液相
- 4 1 I D T 電極
- 4 2 I D T 電極
- 4 3 吸音材
- 4 4 吸音材
- 4 5 高周波信号源
- 4 6 端子
- 5 1 I D T 電極
- 5 2 I D T 電極
- 5 3 I D T 電極
- 5 4 高周波信号源
- 5 5 端子
- 6 1 基板

- 6 2 I C
- 6 3 周波数発振器
- 6 4 基板
- 6 5 I D T 電極
- 6 6 配線
- 6 7 ワイヤ線
- 6 8 ワイヤ線
- 7 0 入力端子
- 7 1 位相比較器
- 7 2 低減フィルタ
- 7 3 増幅器
- 7 4 V C O
- 8 0 送話器
- 8 1 送信信号処理回路
- 8 2 送信ミキサ
- 8 3 送信フィルタ
- 8 4 送信電力増幅器
- 8 5 送受分波器
- 8 6 アンテナ
- 8 7 低雑音増幅器
- 8 8 受信フィルタ
- 8 9 受信ミキサ
- 9 0 受信信号処理回路
- 9 1 受話器
- 9 2 周波数シンセサイザ
- 9 3 制御回路
- 9 4 入力／表示回路
- 1 0 1 アンテナ
- 1 0 2 受話器

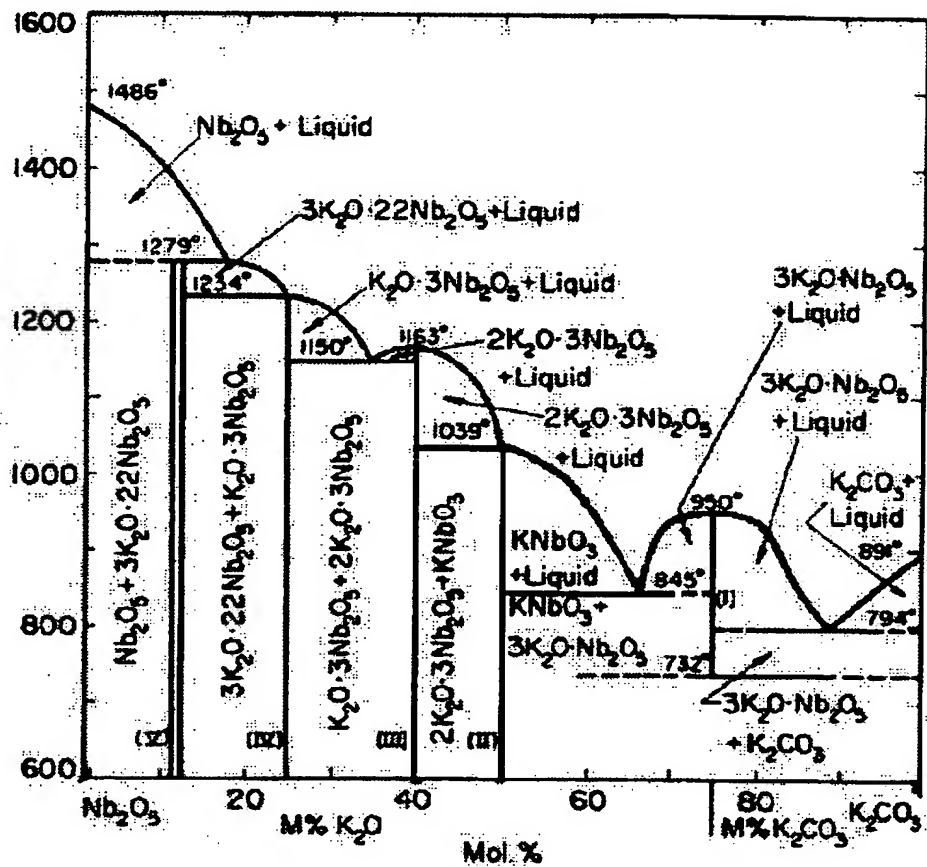
1 0 3 送話器

1 0 4 液晶表示部

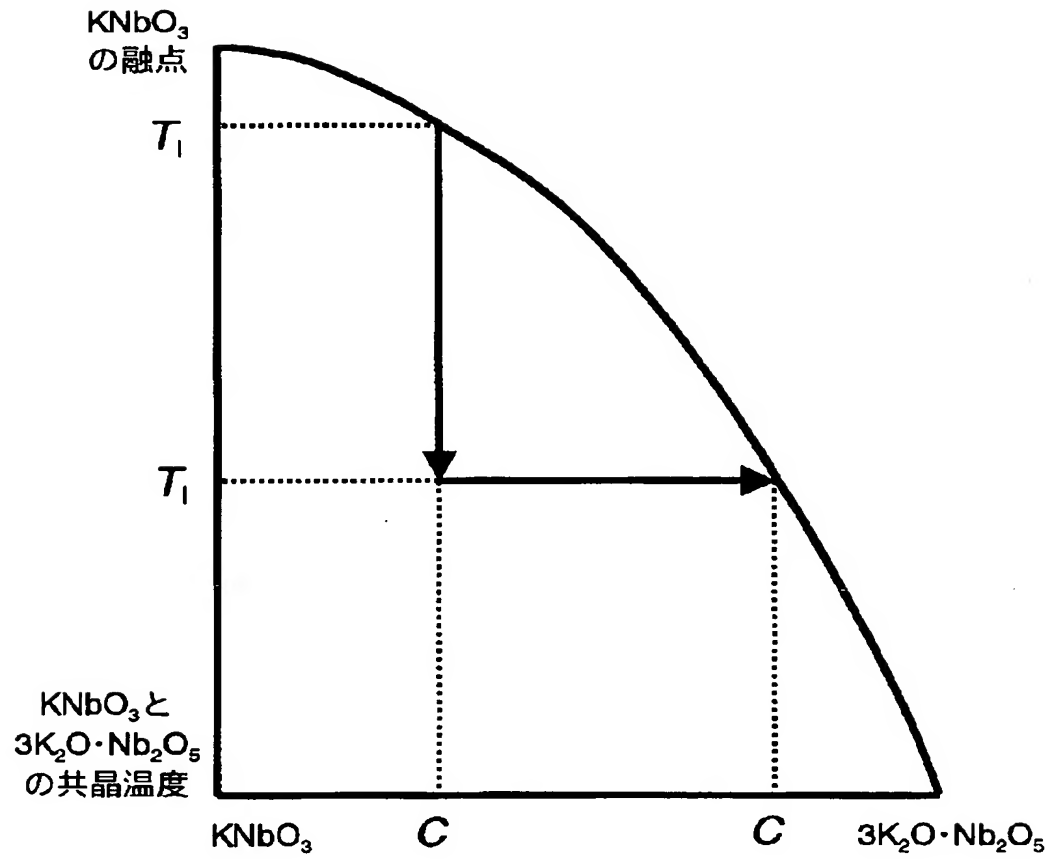
1 0 5 操作釦

【書類名】 図面

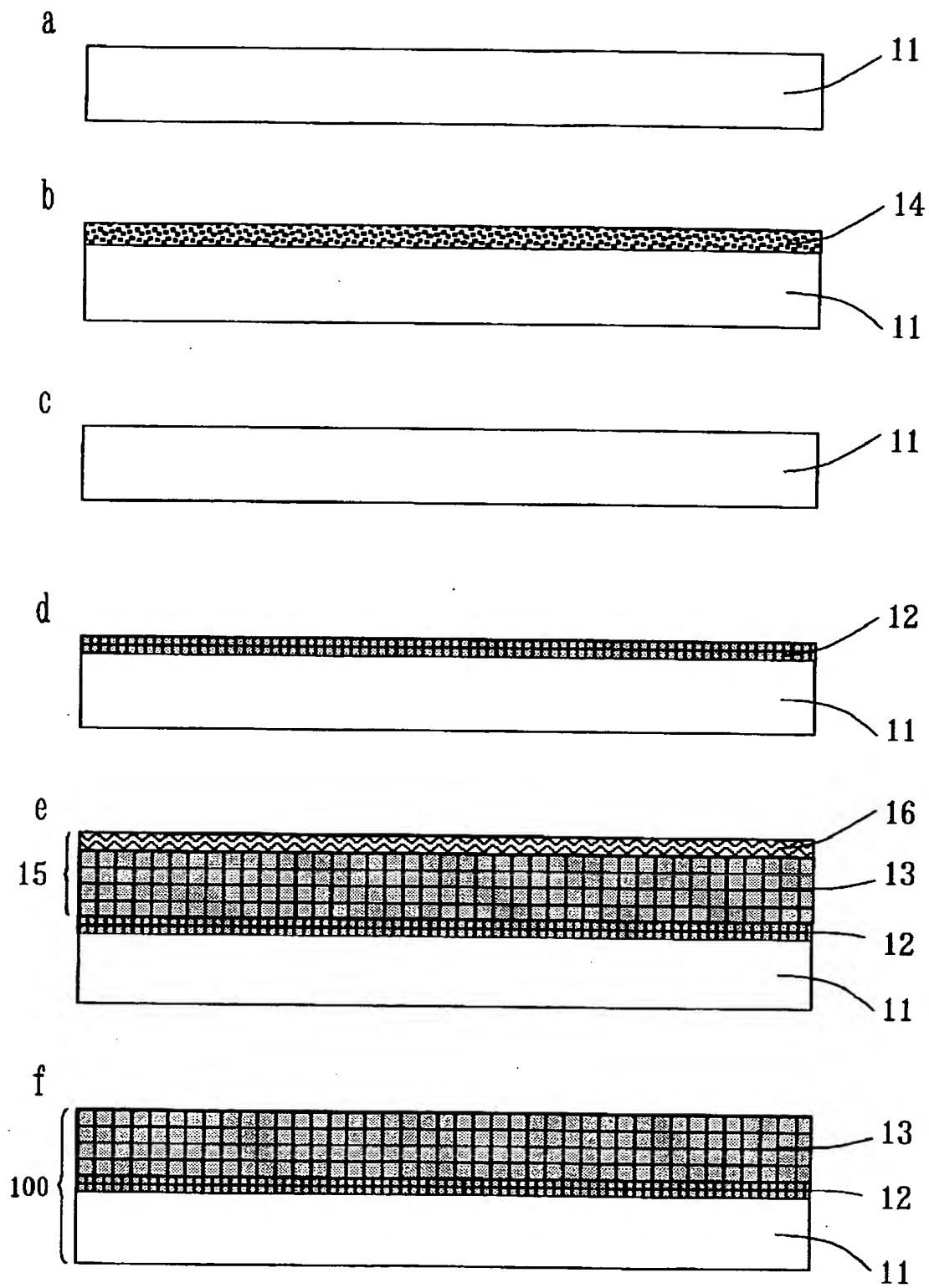
【図 1】

 K_2O (or K_2CO_3)- Nb_2O_5 

【図 2】

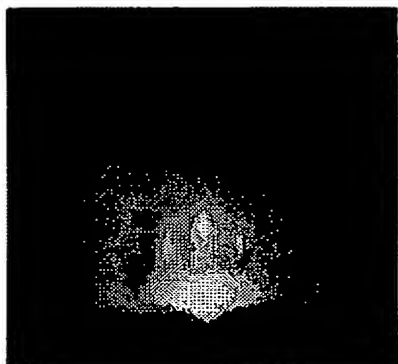


【図 3】

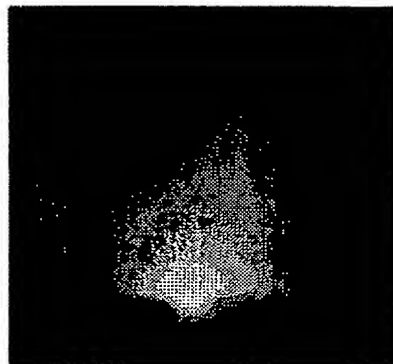


【図 4】

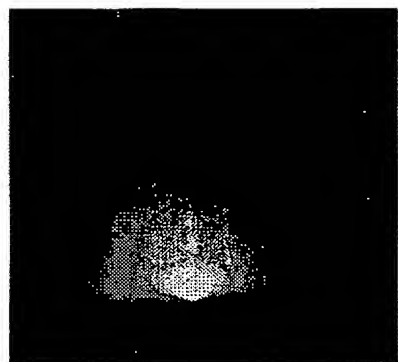
(a)



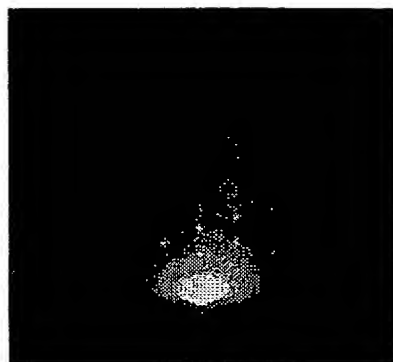
(b)



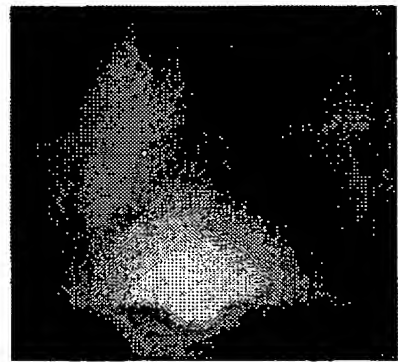
(c)



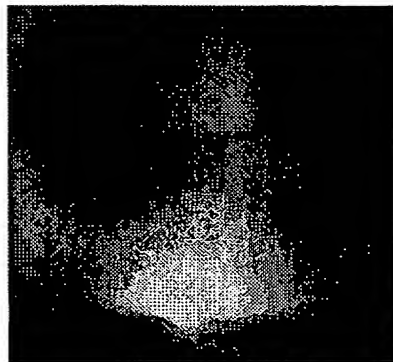
(d)



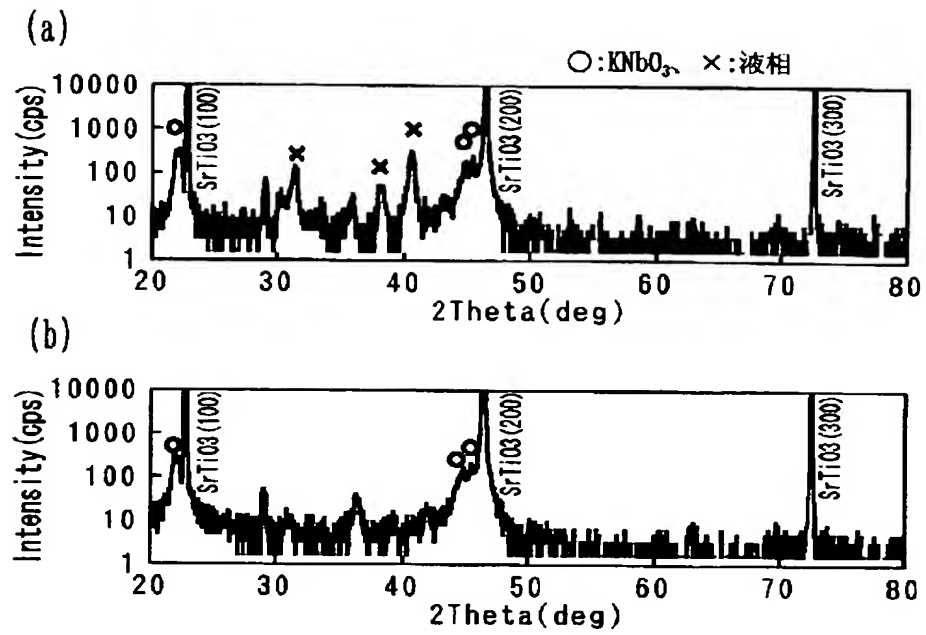
(e)



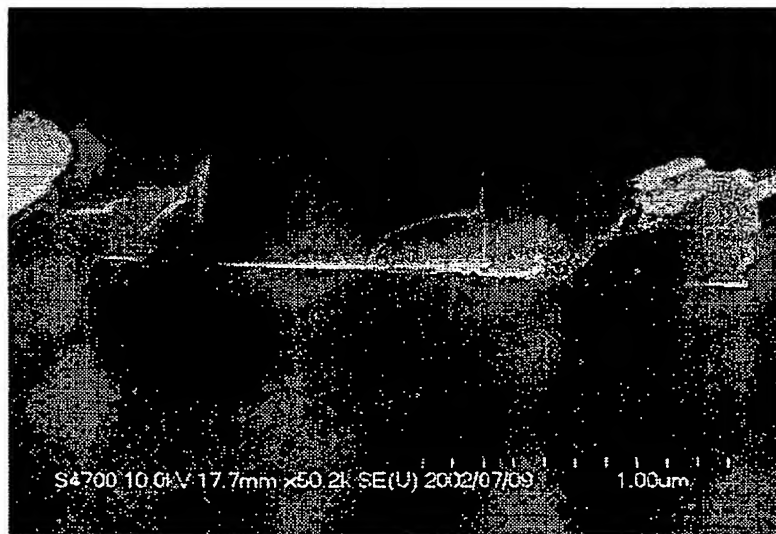
(f)



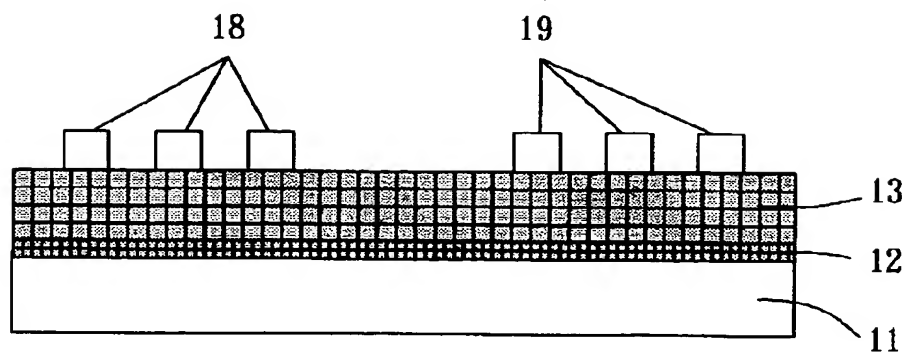
【図 5】



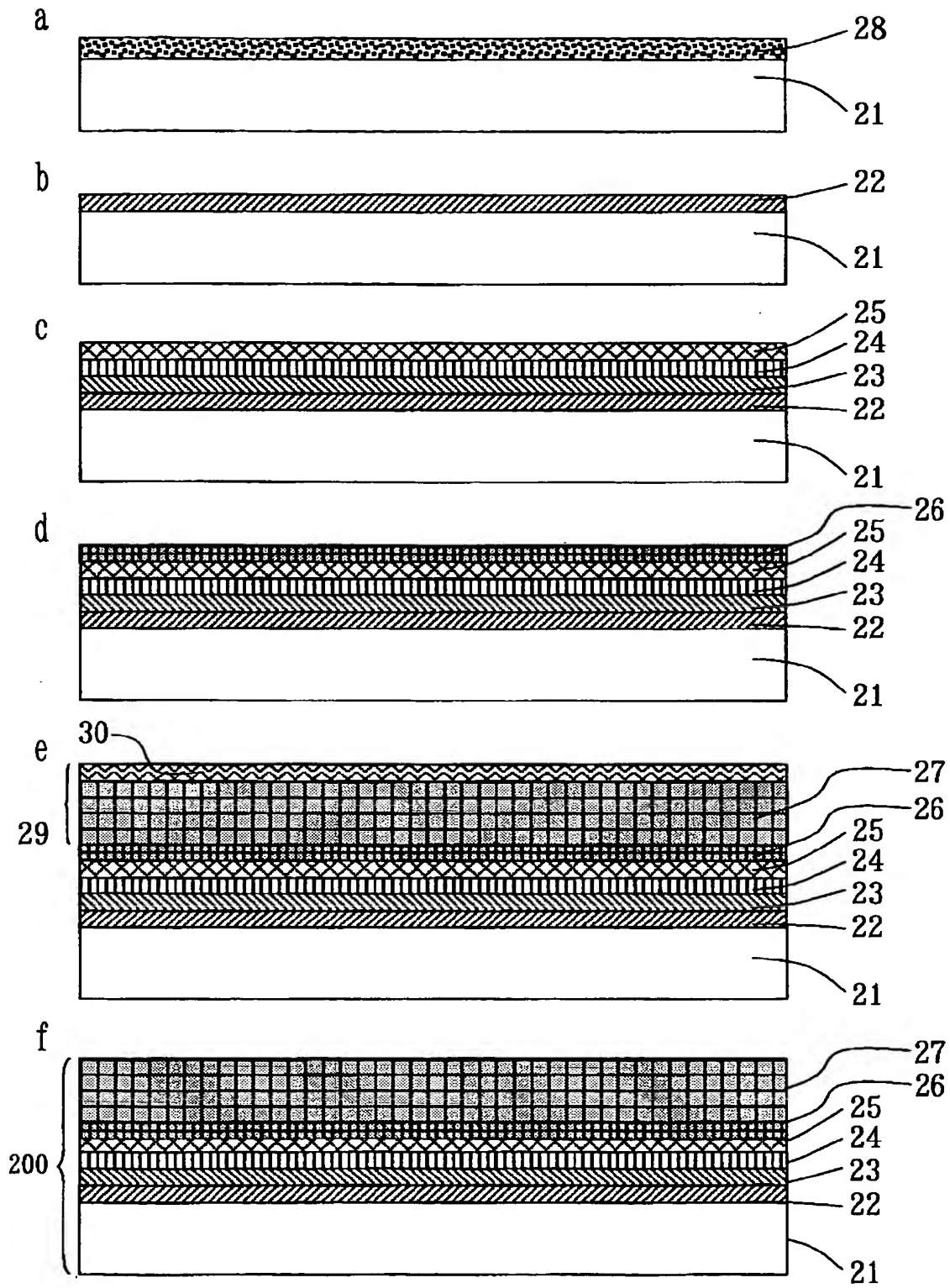
【図 6】



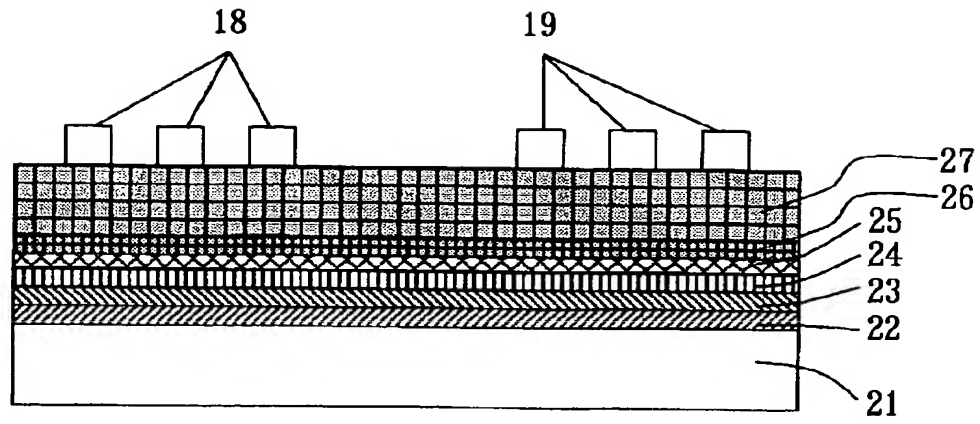
【図 7】



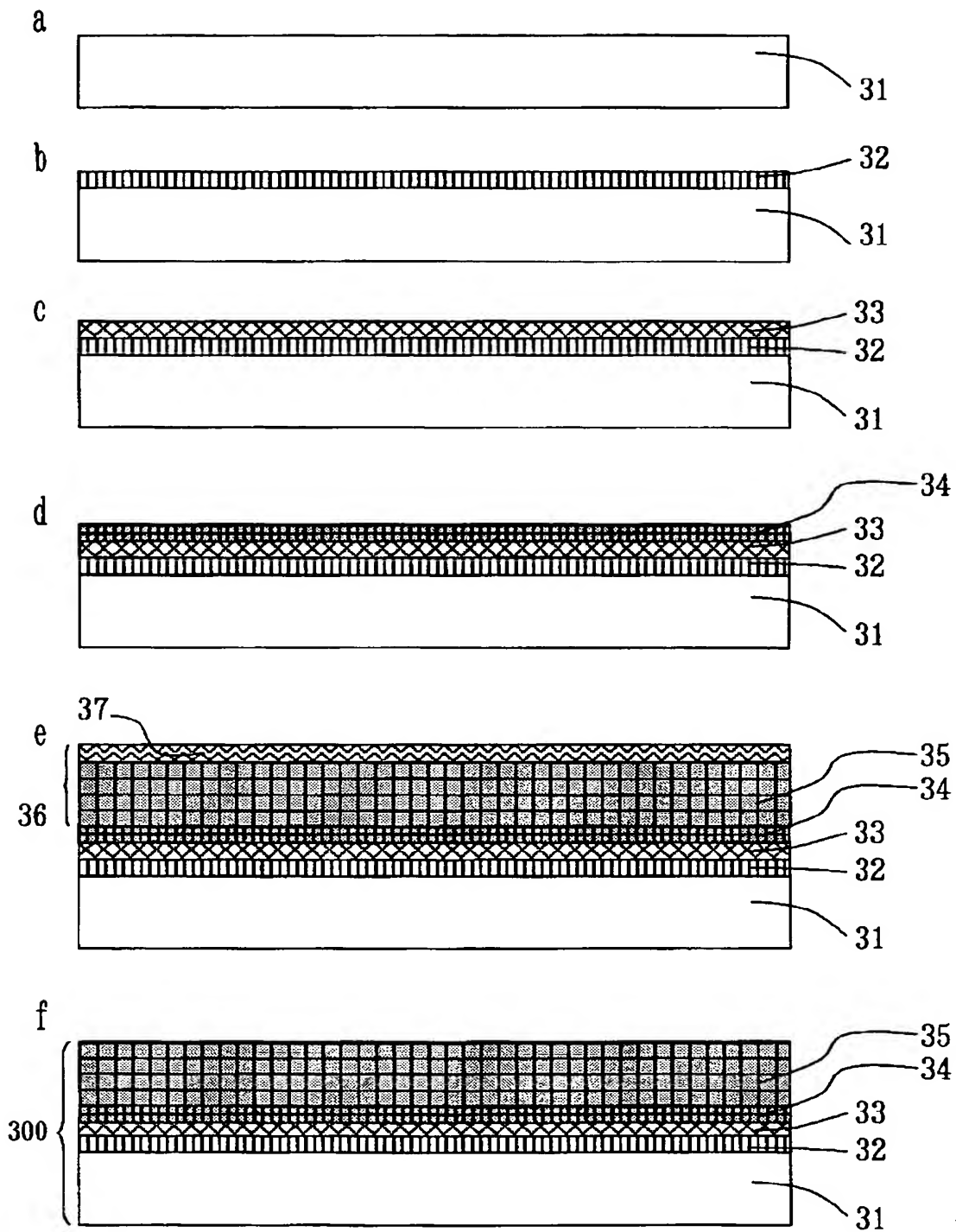
【図 8】



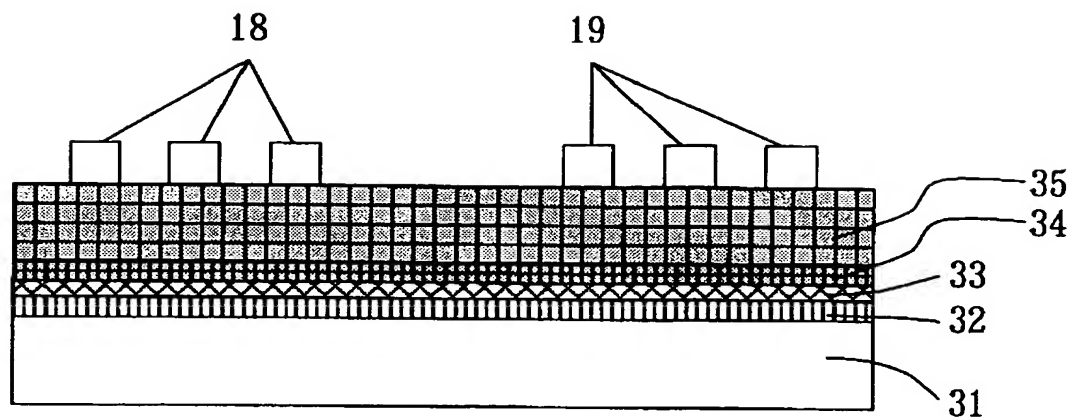
【図 9】



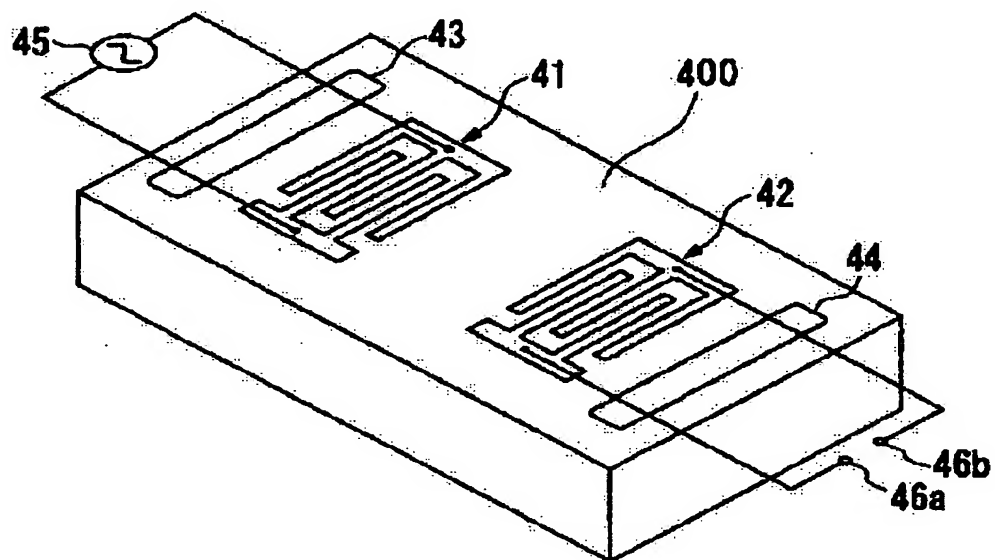
【図 10】



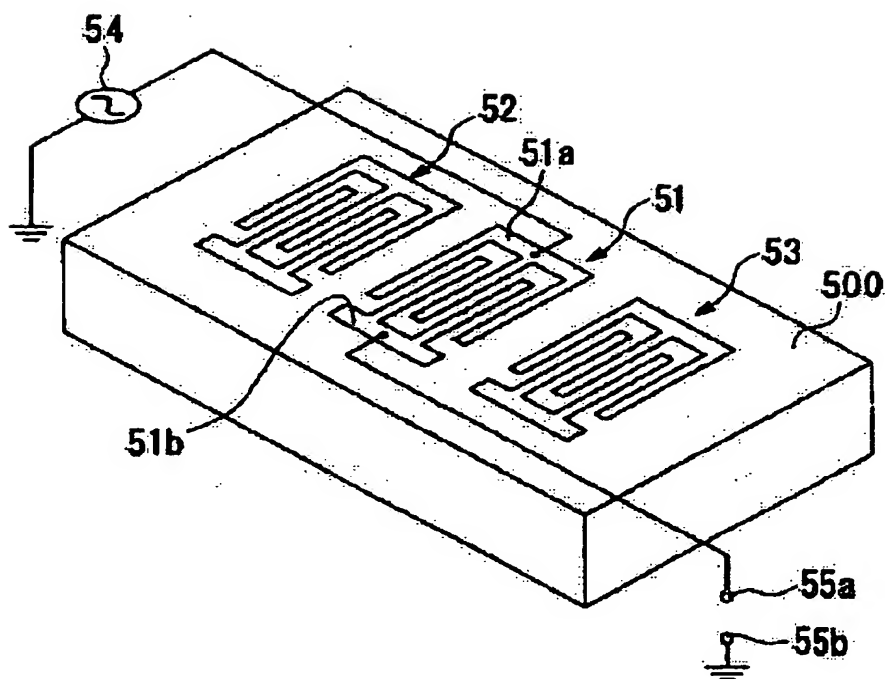
【図 1 1】



【図 1 2】

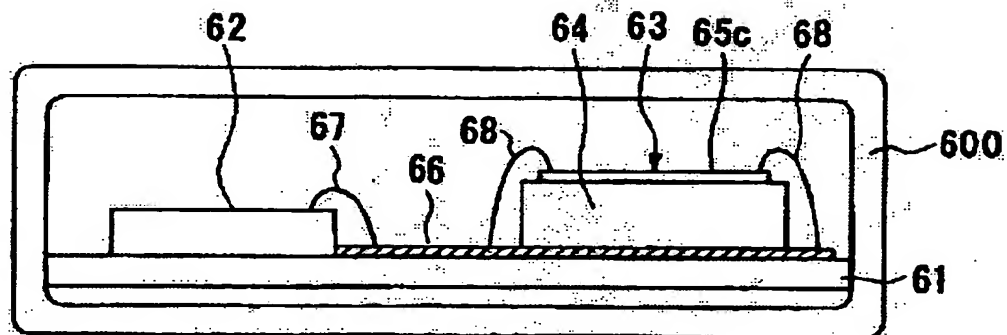


【図 13】

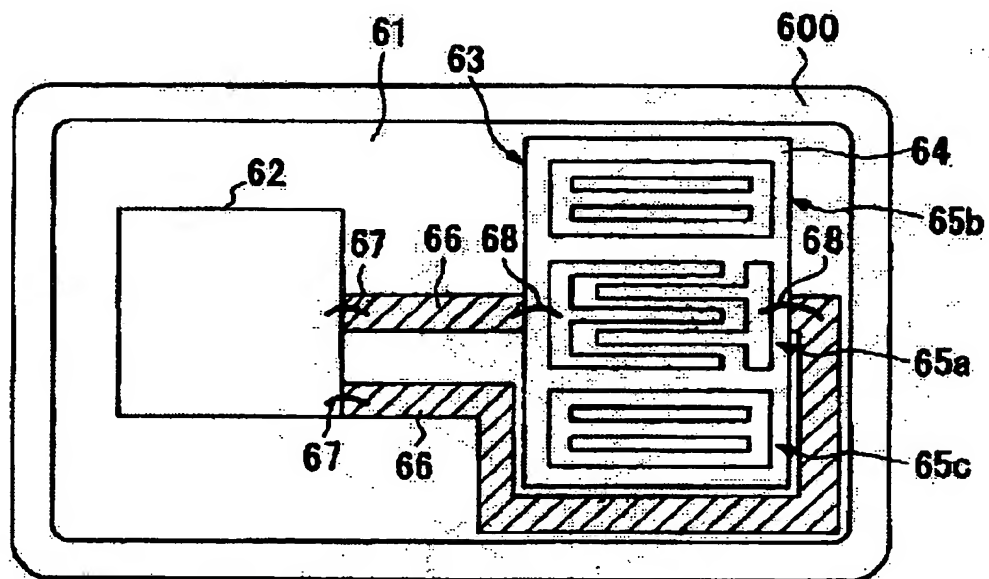


【図 14】

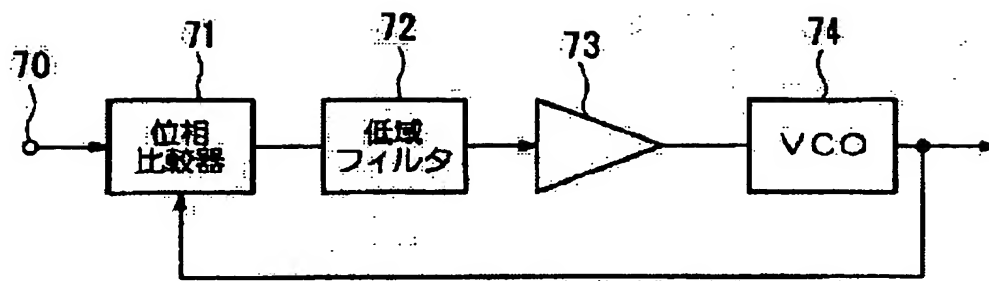
(a)



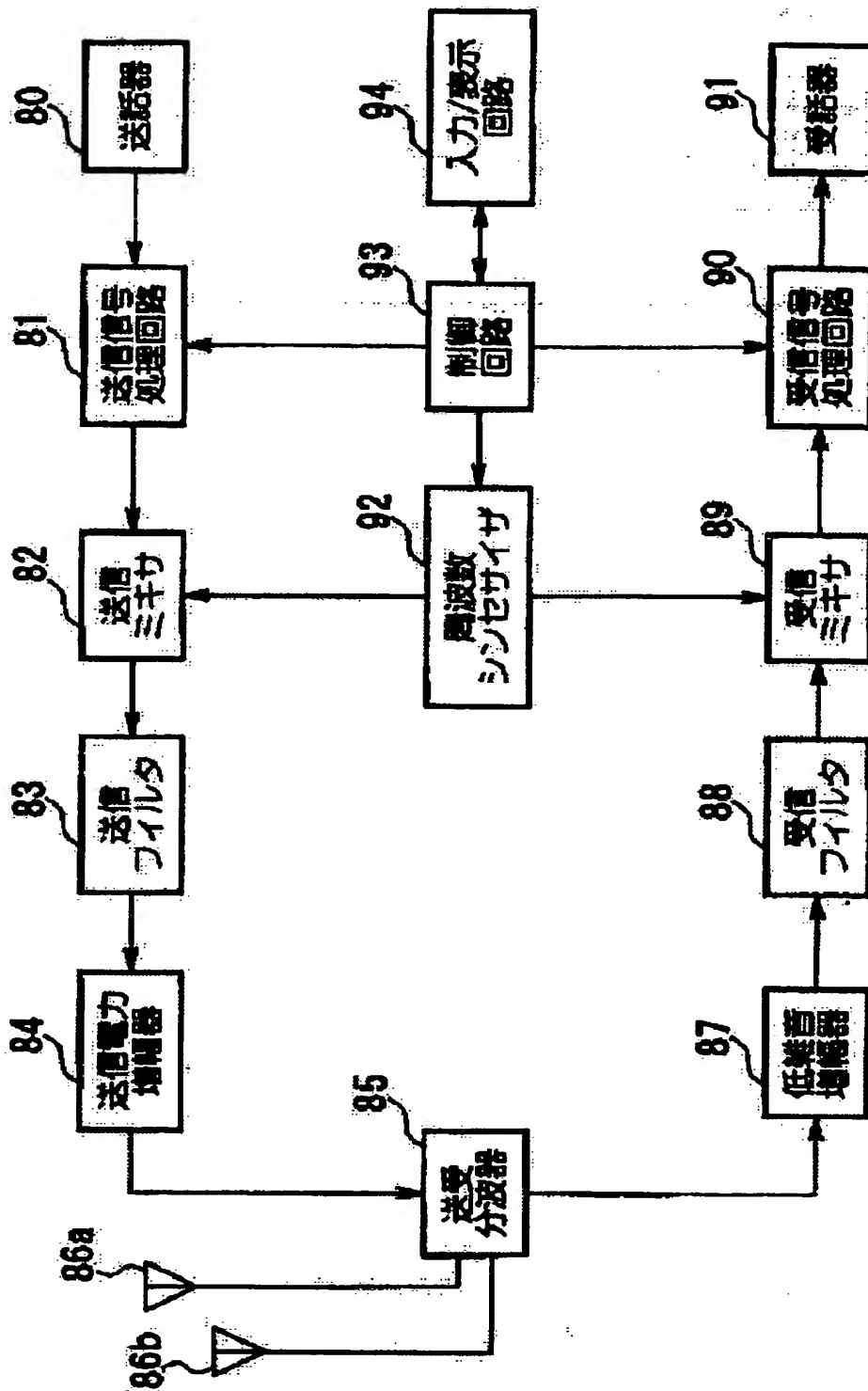
(b)



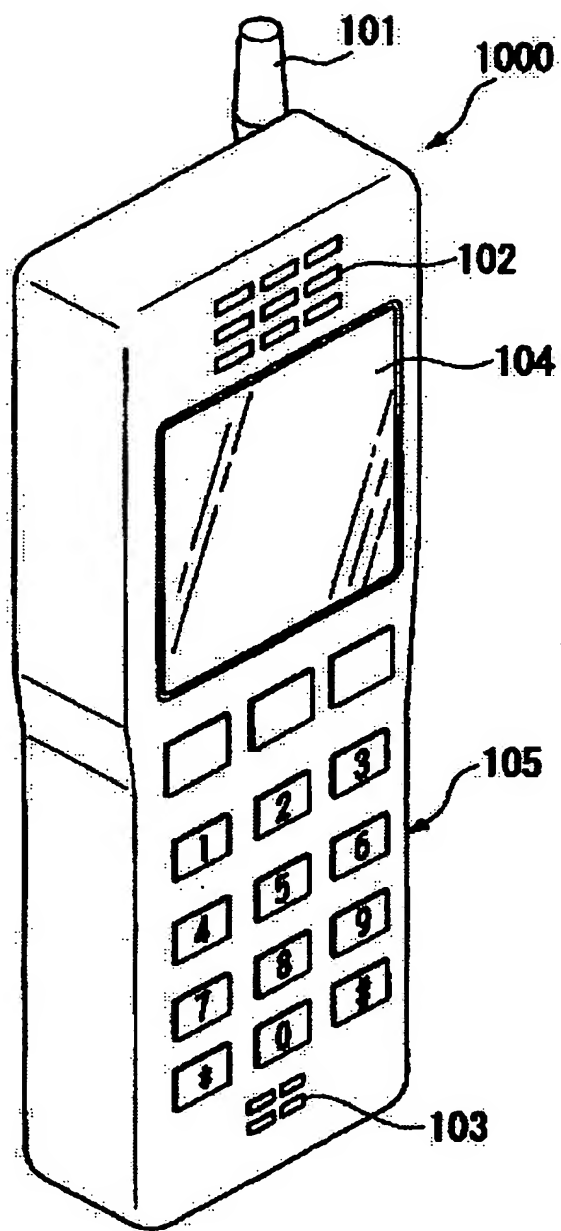
【図 15】



【図16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電気機械結合係数に優れたニオブ酸カリウムを薄膜として作製する場合、Nb に比べて K の飽和蒸気圧が著しく高いために K が蒸発しやすく、作製した薄膜の組成が出発組成と比べて Nb 過剰側にずれてしまい、電気機械結合係数に劣るという課題があった。

【解決手段】 ニオブ酸カリウムと $3\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Nb}_2\text{O}_5$ の共晶温度以上に保持した基板に、 $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 50 : 50$ から $\text{K}_2\text{O} : \text{Nb}_2\text{O}_5 = 65 : 35$ までの組成の原料を高堆積速度で堆積し、液相中から組成ずれのない単結晶状のニオブ酸カリウム薄膜を成長させることにより、電気機械結合係数の大きな表面弾性波素子を実現し、周波数フィルタ、周波数発振器の小型化、電子回路および電子機器の省電力化を実現する。

【選択図】 図 1 1

特願 2 0 0 3 - 0 1 3 6 0 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 3 6 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号

氏 名

セイコーエプソン株式会社